

# Teräsbetonirakenteisen maanpaine- seinäelementin suunnitteluohje

Juha Väisänen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Väisänen, Juha	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2017
	Sivumäärä 64	Julkaisun kieli Suomi
	Osittain salainen	Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Teräsbetonirakenteisen maanpaineiseinäelementin suunnitteluohje		
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hannu Haapamaa, Jukka Konttinen		
Toimeksiantaja(t) Sweco Rakennetekniikka Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin maanpaineesta aiheutuvien kuormitusten määrittämiseen ja teräsbetonirakenteisen maanpaineiseinäelementin rakenteelliseen mitoittamiseen. Suunnittelu- ja mitoitusprosessi käytiin vaihe vaiheelta läpi uusimpien Eurokoodien mukaisesti.</p> <p>Eri puolilla toimeksiantajakonsernia tehdään paljon erilaista elementtisuunnittelua. Tällä hetkellä yrityksen elementtisuunnittelussa ei käytetä elementtikohtaisia ohjedokumentteja, ja jokaisella taholla on omat tavat, kuinka suunnitteluprosessi viedään lähdöstä maaliin. Opinnäytetyöprosessissa hankittujen tietojen pohjalta lopputuloksena laadittiin toimeksiantajan käyttöön ei-julkinen suunnitteluohje, jossa maanpaine-elementin suunnittelu esitellään vaihe vaiheelta edeten.</p> <p>Tavoitteena oli kasata ohjeet ja määräykset useista eri alan teoksista yhden ohjedokumentin alle, jotta toimeksiantajan suunnittelijoilla olisi keskenään yhteneväinen työkalu. Tämä mahdollistaisi yhtenäisen suunnittelumenetelmän läpi konsernin ja työtehokkuus paranisi.</p> <p>Suunnitteluohjeessa paneuduttiin maanpaine-elementin mitoitukseen käytännön laskuesimerkein, tekstiä havainnollistavien kuvien ja mitoitusohjelmasta otettujen kuvankaappauksien avulla. Ohjeessa hyödynnettiin konsernista jo löytyvää tietoutta laskentaohjelmien, suunnittelijoiden henkilökohtaisen osaamisen ja aikaisempien suunnitteluohjeiden muodossa.</p> <p>Ohje julkaistaan konsernin Intranetissä.</p> <p>Opinnäytetyö ei käsittele kulmatukimuureja, vaan pelkästään teräsbetonirakenteista rakennuksen kellarin elementtiseinää, jonka pystysuuntainen rakennemalli on puristettu ja taivutettu nivelpäinen sauva.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) rakenteiden mitoitus, teräsbetoni, elementtirakenteet, seinä, rakenne, eurokoodi, maanpaine, lepopaine, suunnitteluohje		
Muut tiedot Salassa pidettävän liitteen (liite 4) julkaisu antaisi muille rakennesuunnittelutoimistoille huomattavaa kilpailuetua ja se on poistettu perustuen lakiin (621/1999) 24§ kohdat 17 ja 20.		

Author(s) Väisänen, Juha	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 64	Permission for web publication: x
Title of publication Designing prefabricated reinforced concrete wall stressed by earth pressure		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Hannu Haapamaa, Jukka Konttinen		
Assigned by Sweco Rakennetekniikka Oy		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to study how to design the earth pressure at rest and then find out how to structurally design a prefabricated reinforced concrete wall that can withstand the designed earth pressure. The whole designing process of the thesis covers soil masses, reinforced concrete structures and the planning practice of load-bearing structures based on the latest Finnish National Annexes of the Eurocode standards.</p> <p>The thesis includes only the design process of walls made of precast concrete elements. L-shaped retaining wall and the like in-situ concrete structures are not included in the thesis.</p> <p>There is a great deal of prefabricated reinforced concrete design processes throughout the assigning company. Currently, there are no internal guidelines, and the designing process may vary depending on the office assigned for the work. The objective of the thesis was to make a step-by-step instruction manual of the designing process for everyone working in Sweco Finland's structural engineering branch. The standardized designing process would make the practical work easier and faster as well as improve the quality of structural plans.</p> <p>Making of the instruction manual included finding the proper design guidelines for the job from various publications throughout the field. The assigning company's already existing knowledge of the thesis' subject was utilized on making the instruction manual, such as planners personal knowledge, computer designing programs and previous instruction manuals of other structures. The manual included practical calculation examples, conceptual drawings and screenshots from the existing computer program.</p> <p>The manual will be published on the Intranet of the assigning company.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) structural engineering, prefabricated reinforced concrete, wall, structure, earth pressure, Eurocode, earth pressure at rest, instruction manual		
Miscellaneous Publication of the confidential attachment would provide other structural design offices a significant advantage and it has been removed based on article of law (621/1999), 24§ sections 17 and 20.		

## Sisältö

Merkkien selitteet .....	5
Sanasto .....	5
1 Johdanto .....	7
1.1 Tausta .....	7
1.2 Toimeksiantaja .....	8
1.3 Opinnäytetyön tavoitteet ja raja- aus .....	8
1.4 Eurokoodit .....	9
2 Geotekninen suunnittelu .....	10
2.1 Yleistä .....	10
2.2 Geotekninen suunnitteluluokitus .....	10
2.3 Maalajien geotekniset rakenneominaisuudet .....	12
2.4 Geotekniset tutkimukset .....	13
3 Maanpaine .....	13
3.1 Yleistä maanpaineista ja tukirakenteista .....	13
3.2 Lepopaine .....	14
3.3 Aktiivipaine .....	15
3.4 Passiivipaine .....	15
3.5 Tiivistyksen aiheuttama paine .....	16
3.6 Routimisen aiheuttama paine .....	17
3.7 Lepopaineen mitoitus .....	17
3.8 Epätarkkuudet lepopaineen mitoituksessa .....	19
4 Kantavien rakenteiden suunnitteluvaatimukset .....	21
4.1 Perusvaatimukset .....	21
4.2 Seuraamusluokat .....	22
4.3 Suunniteltu käyttöikä ja säilyvyys .....	23
4.4 Palomitoitus .....	24
4.5 Jatkuvan sortuman estäminen .....	25

5	Rajatilamitoitus ja kuormayhdistelmät .....	27
5.1	Yleistä .....	27
5.2	Kuormien luokittelu .....	27
5.3	Murtorajatilat .....	27
5.4	Käyttöraajatilat .....	30
5.5	Osavarmuuslukumenetelmä .....	30
5.6	Eurokoodin mukaiset geotekniset mitoitustavat .....	31
6	Teräsbetoninen seinäelementti .....	34
6.1	Yleistä teräsbetonirakenteista.....	34
6.2	Elementtitekniikka .....	34
6.3	Liitosdetaljit ympäröiviin rakenteisiin.....	37
6.4	Yleistä teräsbetoniseinän raudoituksista .....	40
7	Maanpaineiseinäelementin suunnittelu .....	42
7.1	Yleistä maanpaineiseinäelementtien mitoituksesta .....	42
7.2	Rakenneanalyysi .....	42
7.3	Maanpaineiseinään kohdistuva normaalivoimakuormitus .....	43
7.4	Nurjahduspituus .....	44
7.5	Hoikkuus.....	46
7.6	Epäkeskisyys ja ensimmäisen kertaluvun vaikutukset.....	47
7.7	Toisen kertaluvun vaikutukset.....	49
7.8	Mitoittavan momentin määrittäminen.....	51
7.9	Yhteisvaikutusdiagrammit.....	52
8	Johtopäätökset .....	55
8.1	Pohdinta .....	55
8.2	Tulokset .....	56
	Lähteet .....	58
	Liitteet .....	61

## Kuviot

Kuvio 1. Geotekninen luokitus (RIL 207-2009, 32). .....	11
Kuvio 2. Huokostila eri tavoin esitettynä (Jääskeläinen 2014, 48). .....	12
Kuvio 3. Maanpaineseinä ja sen lepopaineen painekuvio havainnollistettuna, hyötykuorma maan pinnalla. Kuormat eivät ole keskenään mittakaavassa. Muokattu Jääskeläisen (2014, 175) kuvasta. ....	14
Kuvio 4. Siirtymättömän seinän takana tehtävän täytön aikaansaama pysyvä maanpaine (Jääskeläinen 2014, 191). ....	16
Kuvio 5. Lepopaine havainnollistettuna (Jääskeläinen 2014, 174). ....	18
Kuvio 6. Poikkileikkausdetalji harkkorakenteisen perusmuurin vierustäytöstä (Finnfoam rakennekortti CW01, 2017). ....	21
Kuvio 7. Elementin kääntäminen kääntöpyörän avulla (Nostolenkit ja ankkurit 2010). ....	35
Kuvio 8. Sandwich-elementin tuenta elementtituilla (Kuljetus ja nostot N.d). ....	36
Kuvio 9. Ontelolaatan liitos seinään (Runkoliitos DO503, 2013). ....	37
Kuvio 10. Maanpaine-elementin asennus (Huhtiniemi & Kiviniemi 1991, 135). ....	38
Kuvio 11. Kahden elementtiseinän välinen vaijerilenkkiliitos (Seinäliitos DV507, 2013). ....	39
Kuvio 12. TSA-työsaumaraudoite (TS-työsaumaraudoitteet N.d). ....	40
Kuvio 13. PVL-vaijerilenkki asennettuna seinäelementtiin (PVL-vaijerilenkki N.d). ....	40
Kuvio 14. Seinän mitoituksessa käytettävät merkinnät (Leskelä 2008, 426). ....	43
Kuvio 15. Tavallisimpiin tuentatapoihin liittyvät nurjahduspituudet (SFS-EN 1992-1-1:2015, 65). ....	45
Kuvio 16. Nurjahduspituuskertoimen arvot $\beta$ erilaisilla reunaehdoilla (SFS-EN 1992-1-1:2015, 191). ....	46
Kuvio 17. Pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrä, murtotavat havainnollistettuna (Mts. 106). ....	53
Kuvio 18. Pilarin yhteisvaikutusdiagrammi (Leaflet osa 5 2009, 9). ....	54

## Taulukot

Taulukko 1. Eurokoodien pääosat (Esite eurokoodeista 2014).....	10
Taulukko 2. Seuraamusluokkien CC määrittely (RIL 201-1-2009, 24).....	22
Taulukko 3. Kantavien betoniseinien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot (SFS-EN 1992-1-2:2005, 42).....	24
Taulukko 4. Kuormien ( $\gamma F$ ) tai kuormien vaikutusten ( $\gamma E$ ) osavarmuusluvut (SFS-EN 1997:2014, 124). ....	32
Taulukko 5. Osavarmuusluvut maaparametreille ( $\gamma M$ ) (SFS-EN 1997:2014, 124).....	33
Taulukko 6. Kestävyyden osavarmuusluvut ( $\gamma R$ ) tukirakenteille (SFS-EN 1997:2014, 128). ....	33

## Merkkien selitteet

Opinnäytetyössä käytetyt symbolit ja merkinnät ovat täysin vastaavat kuin Eurokoodeissa SFS-EN 1990 + A1 + AC, SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC sekä SFS-EN 1997-1 + A1 + AC.

## Sanasto

Geotekninen luokitus	Geoteknisen suunnittelun vaatimukset jaettuna kolmeen eri luokkaan (GL1, GL2, GL3) oletetun suunnittelutyön haastavuuden perusteella.
Geotekninen kuorma	Rakenteeseen maasta, täytöstä, seisovasta vedestä tai pohjavedestä aiheutuva kuorma.
Hyötykuorma Q	Kuorma, joka liikkuu ja sen suuruus vaihtelee ajan myötä.
Leikkauskestävyyskulma	Tärkein maaperän lujuusominaisuuksista. Suurelta osin tämän mukaan määräytyy esim. maaperän kantavuus ja tukiseiniin kohdistuvat paineet tilanteissa, joissa maamassaan syntyy vyöhykkeitä, joita pitkin maamassa pyrkii murtumaan leikkautumalla.
Kitkamaa	Maa-aines jossa sen kantavuus perustuu rakeiden väliseen kitkaan, esim. sora, louhe ja hiekka.
Koheesiomaa	Hienorakeinen maalaji, jossa lujuusominaisuudet perustuvat rakeiden väliseen koheesioon, esim. savi.
Konsolidaatio	Maaperän tiivistyminen ja lujittuminen kuormituksen vaikutuksesta.
Käyttörajatila	Rakenteen tai rakenneosan toiminnan häiriintyminen siten että käyttökelpoisuusvaatimukset eivät täyty. Rajatilan ylittyminen ei aiheuta välitöntä turvallisuusriskiä.



Maanpaine	Maamassan tai pohjaveden aiheuttama pystysuuntaisiin tai kalteviin seinämiin ja rakenteisiin kohdistuva kohtisuora paine.
Murtorajatila	Rakenteen tai rakenneosan vaurioituminen, sortuminen tai väsyminen joka aiheuttaa vaaratilanteen ihmisten turvallisuudelle tai omaisuudelle. Maaperässä murtorajatila tarkoittaa maamassan kantokestävyyden menetystä tai maamassan liukumaa.
Nurjahdus	Puristetun ja hoikan rakenteen stabiliteetin menetys, jolloin rakenteen sivuttaissuuntainen siirtymä tukien välissä on liian suuri.
Pysyvä kuorma G	Kuorma, joka vaikuttaa koko rakennuksen eliniän ajan eikä vaihtelee ajan myötä.
Tukimuuri	Maata tukeva rakenneosa, joka estää maan pintaa kallistumasta luonnolliseen kaltevuuskulmaansa. Kulmatukimuuri hyödyntää maamassan omaa painoa seinän vakauttamisessa.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Eri puolilla toimeksiantajakonsernia tehdään runsaasti maanpaineisiin liittyvää elementtisuunnittelua. Nykyisellään suunnittelupohjien ja detaljien kirjo on suuri ja yhteistä toimintamallia ei ole. Lisäksi nuoren suunnittelijan on vaikea hahmottaa, milloisten laskentapohjien ja detaljien mukaan suunnitellaan. Yhtenäisen laskentapohjan, kuvapohjan ja perusdetaljikirjaston kautta toimintamallia saadaan yhtenäistettyä sekä saadaan apuvälineet tehokkaaseen maanpaine-elementin suunnitteluun.

Maanpaineeseen liittyvät suunnitelmat ja laskelmat ovat olleet aina hieman epämääräisiä johtuen siitä, että maanpaineen luonne on sikäli hankala verrattuna esimerkiksi rakennuksen katolla olevaan lumikuormaan, että maanpainetta ei voi havaita suoraan silmillä (kuten lumikerrostuman katolla) ja se ei vaikuta painovoiman vaikutuksesta kohtisuoraan pystysuuntaisesti, joten sitä ei voi suoraan myöskään punnita vaa'alla (kuten lumikerroksen painoa). Lisäksi maamassan rakennuskohteittain vaihtelevat geotekniset ominaisuudet, kuten eri maalajien ominaispaino, maaperän vaihteleva kosteuspitoisuus, pohjavesipinnan korkeus, seinän ja maamassan välinen kitka ja routaeristystavat voivat vaihdella suurestikin eri rakennuskohteiden välillä. Näiden lisäksi rakennuksen ulkopuolella vaikuttavat hyötykuormat, kuten ajoneuvoliikenne vaihtelee hyvin paljon rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Tällöin on hyvin vaikea ilman laskelmia sanoa, kuinka suuri maanpaine kuorma seinään vaikuttaa ja seinä onkin suunniteltava ja mitoitettava huolellisesti.

Lisää muuttujia suunnittelutyöhön aiheuttaa se, että eri maanpaineiden luonteita on useita, kuten lepopaine, aktiivipaine ja passiivipaine. Suunnittelijan on tiedettävä, luonnehditaanko rakenne sivuttaissiirtyväksi, jotta saadaan käytettyä oikeaa maanpaineen laskentatapaa. Lisäksi maanpaineet voidaan laskennallisesti määrittää useiden eri teorioiden tavoin. Näistä esimerkkeinä ovat aktiivipaineen murtorajatilaa määritettäessä maan plastisuuteen perustuva Rankine'n teoria ja tasoliukupintoihin perustuva Coulombin teoria, sekä kokemuspäisästi määritetty lepopaineen laskukaava (Jääskeläinen 2014, 174-176).

## 1.2 Toimeksiantaja

Sweco-konserni on ympäri maailmaa toimiva ruotsalainen rakennusalan suunnittelun ja konsultoinnin asiantuntijayritys, jonka liikevaihto on noin 1,7 miljardia euroa.

Swecon osakkeet noteerataan pohjoismaisessa OMX-pörssissä Tukholmassa. Sweco työllistää maailmanlaajuisesti yhteensä 14 500 työntekijää ja toteuttaa projekteja vuosittain 70 eri maassa. (Tietoa Swecosta n.d.)

Sweco Finland Oy on osa kansainvälistä Sweco-konsernia. Yhteensä 14 500 swecolaisesta noin 2 000 työskentelee Suomessa. Sweco Finlandin palvelut kattavat koko rakentamisen prosessin hankkeen esiselvityksistä aina kohteen valmistumisen jälkeisiin laadunvarmistus- ja ylläpitopalveluihin asti. (Sweco Finland lyhyesti 2016.)

Sweco Rakennetekniikka Oy on rakennesuunnittelun majohtaja Suomessa. Se työllistää noin 700 rakennusalan asiantuntijaa 17 eri paikkakunnalla. Rakennetekniikka kattaa betonirakenteet, teräsrakenteet, puurakenteet, julkisivurakenteet, vaativan teknisen laskennan, tarkastus- ja asiantuntijatehtävät, kestävän kehityksen palvelut, korjausrakentamisen palvelut ja rakennetekniikan erityispalvelut. (Yleistietoa Sweco Finlandista 2016.)

## 1.3 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia ja parantaa Sweco Rakennetekniikka Oy:n käyttöön apuvälineitä maanpaineen kuormittaman betonirakenteisen kantavan seinäelementin suunnittelemiseksi. Tavoitteena oli se, että jokapäiväisestä suunnittelutyöstä tulisi helpompaa, nopeampaa ja laadukkaampaa, kun yrityksen työntekijällä on käytettävissään valmiit apuvälineet, joilla maanpaine-laskelmiin tehtävä suunnittelutyö suoritettaisiin.

Yrityksellä oli ennestään seinän mitoittamiseen ja maanpainekuorman määrittämiseen tarkoitetut Excel-ohjelmat. Tavoitteena oli dokumentoida maanpaine-elementin suunnitteluohje olemassa oleviin Excel-pohjiin perustuen. Opinnäytetyöhön kuului myös Excel-laskentapohjien ajantasaisuuden ja toimivuuden tarkastus.

Suunnitteluohjeen oli määrä olla niin selkeä ja seikkaperäinen, että yrityksen kuka tahansa rakennesuunnittelija kykenisi Eurokoodien mukaisesti määrittämään maanpaine-kuormituksen ja mitoittamaan teräsbetonisen maanpaine-elementin, vaikka aikaisempi kokemus maanpaineeseen liittyvissä mitoitusilanteissa olisi vähäinen.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan ainoastaan yksiaineista teräsbetonista seinäelementtiä ja homogeenistä maa-ainesta, jotta opinnäytetyö ei paisuisi liian laajaksi. Lisäksi seinän tarkastelu laattana rajattiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

## 1.4 Eurokoodit

Eurokoodit ovat eurooppalaisen standardisointijärjestö CEN:n tuottamia standardeja jotka koskevat kantavien rakenteiden suunnittelua. Eurokoodisarja koostuu 58 eri osasta jotka käsittelevät mm. tuuli-, lumi-, ja hyötykuormat sekä materiaalien ja kuormien varmuuden määrittämistavat. Useille rakennusmateriaaleille on omat yksityiskohtaiset ohjeet. Standardien soveltaminen vaatii kansallisten liitteiden (National Annex) laatimista, jotka Suomessa laatii Ympäristöministeriö. (Esite eurokoodeista 2014.)

Eurokoodien pääosat löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. Eurokoodien pääosat (Esite eurokoodeista 2014).

SFS-EN 1990 Eurokoodi 0: Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat
SFS-EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1994 Eurokoodi 4: Betoni-teräслиittorakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1996 Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
SFS-EN 1998 Eurokoodi 8: Rakenteiden suunnittelu kestävyys suhteen maanjäristyksessä
SFS-EN 1999 Eurokoodi 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu

Tämä opinnäytetyö toteutettiin nykyaikaisesti täysin Eurokoodeihin pohjautuvana. Opinnäytetyön kannalta oleellisia standardeja ovat Eurokoodit 0, 1, 2 ja 7. Näistä geotekninen osuus otettiin käyttöön viimeisenä, vuonna 2014.

## 2 Geotekninen suunnittelu

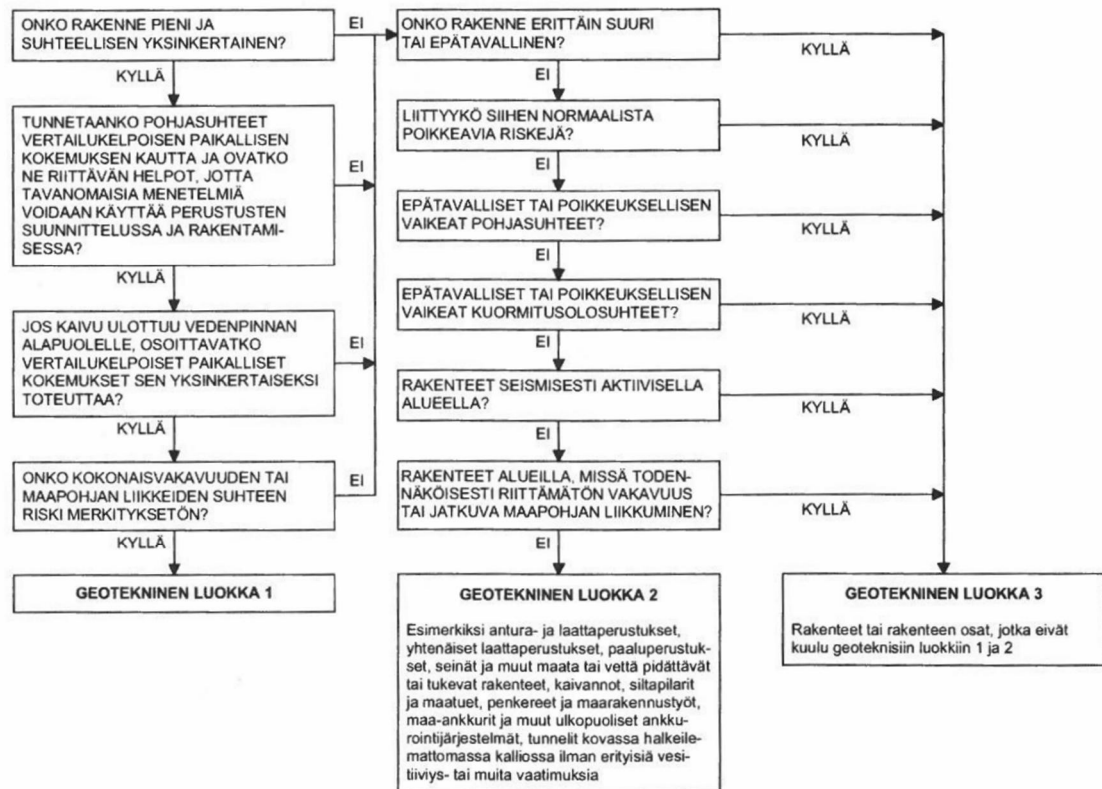
### 2.1 Yleistä

Tämän opinnäytetyön geotekninen osuus on rajattu siten, että käsitteet koskevat suurimmilta osin vain maanpaineeseen liittyvää suunnittelua.

### 2.2 Geotekninen suunnitteluluokitus

Geoteknisen suunnittelun vaatimukset voidaan jakaa kolmeen luokkaan suunnittelun haastavuuden perusteella, GL1, GL2 ja GL3. Näistä GL3 on vaativin luokka. Rakenteen

geoteknisen luokan valinta tehdään tavallisesti ennen geoteknisiä tutkimuksia, mutta se voidaan muuttaa tarvittaessa suunnittelu- ja rakennustyön edetessä. (RIL 207-2009, 30.)



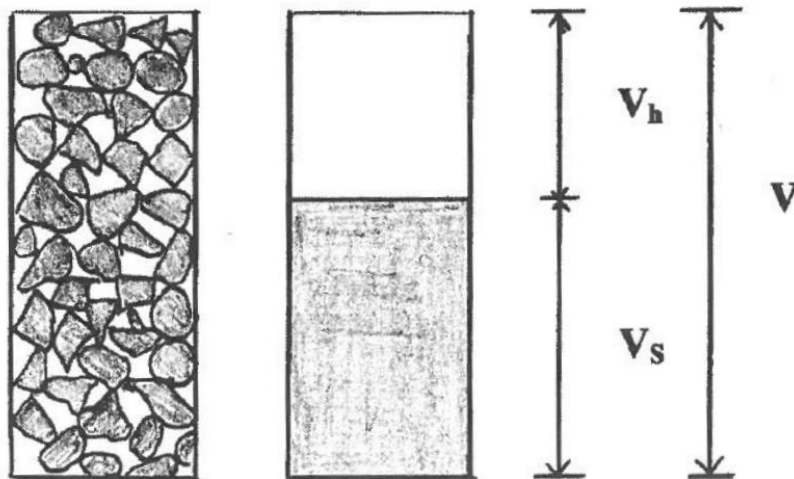
Kuvio 1. Geotekninen luokitus (RIL 207-2009, 32).

GL1-luokkaan kuuluvat vain pienet ja suhteellisen yksinkertaiset rakenteet, joista ei aiheudu merkittävää riskiä. GL2-luokkaan kuuluvat tavanomaiset rakenne- ja perustamistavat, joihin ei liity poikkeavia riskejä tai epätavallisia kuormituksia. GL2-luokan rakenteista esimerkkinä toimivat perinteiset antura- ja laattaperustukset, maanpaineseinät ja paaluperustukset. GL3-luokkaan kuuluvat haastavat rakenteet, joissa on esim. poikkeukselliset kuormat ja/tai pohjaolosuhteet. (Mts. 31-32.)

Tässä opinnäytetyössä tutkittava teräsbetonirakenteinen maanpaineseinä kuuluu yleensä geotekniseltä luokituksestaan luokkaan GL2.

## 2.3 Maalajien geotekniset rakenneominaisuudet

Eri maalajien ominaisuudet voidaan jakaa kahtia luokitusominaisuuksiin ja geotekniisiin ominaisuuksiin. Luokitusominaisuudet jaetaan vielä kahteen luokkaan, rakenneominaisuuksiin ja koostumisominaisuuksiin. Rakenneominaisuuksista tärkein maa-aineksen muiden ominaisuuksien muodostumisen kannalta on huokoisuus. Se määrittää sen, kuinka suuri osuus koko näytteen tilavuudesta on ilmahuokosia. Huokoisuus on keskeinen tekijä monissa maalajien ominaisuuksissa, koska sen perusteella määritetään aineille mm. kuiva- ja märkätilavuuspaino, jotka ovat tärkeitä maanpaineen muodostumisen kannalta. (Jääskeläinen 2014, 46.)



Kuvio 2. Huokostila eri tavoin esitettynä (Jääskeläinen 2014, 48).

Jos maa-aines (teoriassa) olisi täysin huokosista vapaa, sen kuivatilavuuspaino  $\gamma_d$  olisi umpinaista kiviainesta vastaava  $26,5 \text{ kN/m}^3$ . Tällainen tilanne ei kuitenkaan koskaan toteudu rakennetuissa täytöissä. Mitä huokoisempaa maa on, sitä enemmän siinä on ilmaa ja sitä kautta kevyempää maa-aines on. Maa sisältää kuitenkin yleensä aina kosteutta, ja siitä kuinka suuri osa maa-aineksen huokostilasta on vedellä täyttynyt, käytetään ilmaisua kyllästymisaste. Maanpaineelaskuissa käytetään täysin vedellä kyllästyneen maan tilavuuspainoa  $\gamma_{sat}$ , jolloin oletetaan, että huokokset ovat täynnä vettä. (Mts. 49-50)

## 2.4 Geotekniset tutkimukset

Geotekninen suunnitteluprosessi perustuu aina geoteknisiin tutkimuksiin. Suunnittelijan on saatava tutkimusten avulla riittävän laajasti ja riittävän tarkkaa tietoa maaperän ominaisuuksista, jotta geotekninen suunnittelu on ylipäättään mahdollista. Tutkimuksien laajuus ja vaatimustaso vaihtelevat sen mukaan, mikä on rakennushankkeen geotekninen luokitus. (RIL 207-2009, 69.)

Geoteknisestä tutkimuksesta tulee aina tehdä pohjatutkimusraportti, johon kootaan tutkimuksen tulokset. Pohjatutkimusraportista tulee löytyä kaikkien käytettävissä olevien geologisten tietojen esittely ja tulokset. Raportissa on myös mainittava, onko kyseessä laboratoriossa vai todellisissa olosuhteissa suoritettu koe. (Mts. 79.)

Pohjatutkimusraportti tulee sisällyttää laajempaan geotekniseen suunnitteluraporttiin. Suunnitteluraportista tulee löytyä geotekniset lähtötiedot ja -olettamet, laskentamenetelmät ja varmuuden ja käyttökelpoisuuden todentamisen tulokset. (Mts. 65.)

## 3 Maanpaine

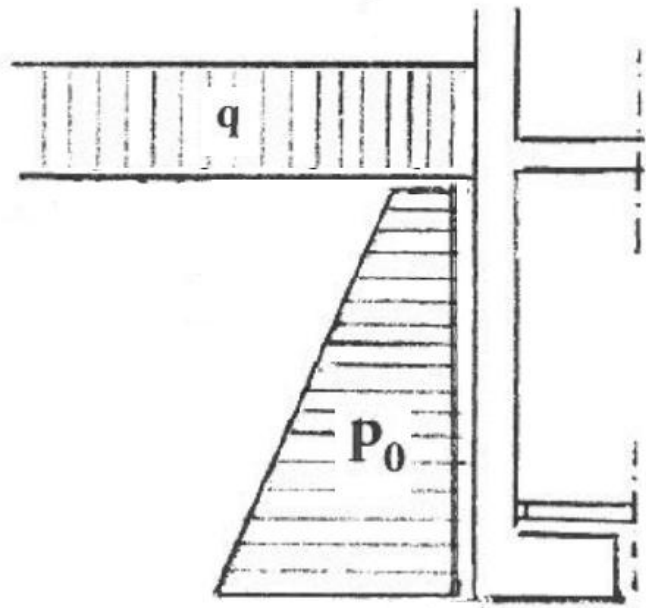
### 3.1 Yleistä maanpaineista ja tukirakenteista

Maanpaine on maa-aineksen aiheuttamaa pystysuuntaisiin tai kalteviin rakenteisiin kohtisuoraan rakennetta vasten kohdistuvaa kuormitusta (Jääskeläinen 2014, 172). Maanpainetarkastelu on tavanomainen tilanne esim. kellarin seinissä tai tukimuureissa, joissa toisella puolella seinämää on suuri maamassa ja toisella puolella tyhjää tilaa esim. huone tai kaivanto. Maanpainekuormitus aiheuttaa seinän pystysuoralle tasopinnalle kuormituksen, joka muistuttaa hieman tuulen paineen aiheuttamaa kuormitusta seinälle, ollen kuitenkin moninkertaisesti suurempi kuin tuulen paine. Erona niillä on lisäksi se, että tuulikuorman oletetaan olevan tasainen viivakuorma, kun taas maamassan lepopainekuormitus on trapetsikuorma, jonka suuruus kasvaa lineaarisesti, mitä syvemmälle maahan mennään.

Maanpaineen lajit voidaan jakaa rakenteen ja maamassan muodonmuutoksen perusteella kolmeen eri kategoriaan: aktiivipaineeksi, passiivipaineeksi ja



lepopaineeksi. Aktiivi- ja passiivipaine ovat molemmat maaperän murtotilapaineita ja ne perustuvat analyyttisiin menetelmiin. Lepopaine lasketaan puolestaan kokeellisesti kehitettyjen kaavojen avulla. Suuruudeltaan pienin on aktiivipaine ja suurin passiivipaine. Lepopaine on suuruudeltaan niiden välissä. (Jääskeläinen 2014, 172-174.)



Kuvio 3. Maanpaineseinä ja sen lepopaineen painekuvio havainnollistettuna, hyötykuorma maan pinnalla. Kuormat eivät ole keskenään mittakaavassa. Muokattu Jääskeläisen (2014, 175) kuvasta.

### 3.2 Lepopaine

Lepopaine on maamassan aiheuttama paine, joka vallitsee maan sisällä normaaliolosuhteissa, kun maamassaan ei kohdistu liikettä, liukumaa tai muuta vastaavaa kuormitusta, joka pyrkii muuttamaan maamassan olemassa olevaa muotoa. Se voidaan RIL 157-2:n mukaisesti (1990, 153) määritellä myös lujuusopillisesti kosketuspaineena, jolla maa-aineksen hiukkasten keskinäinen asema pysyy siirtymättömässä tilassa. Jos maanpaineen kuormittama seinä määritellään siirtymättömäksi rakenteeksi, kuten tämän opinnäytetyön tapauksessa, sen kuormittamassa maamassassa

ei myöskään oleteta tapahtuvan minkäänlaisia liikkeitä. Tällöin maamassa ei myöskään joudu murtotilaan ja ainoat maanpainetta tuottavat asiat ovat rakennusaikainen tiivistys sekä maamassan ominaisuudet, kuten ominaispaine ja leikkauskestävyyskulma. Lepopaine kuorma vaikuttaa aina vaakasuoraan. (Jääskeläinen 2014, 172-174.)

### 3.3 Aktiivipaine

Aktiivipaine perustuu siihen, että maamassa joutuu murtotilaan. Maamassan murtuminen tapahtuu, jos rakenne (esim. tukiseinä) myötää ja liikkuu maanpaineen aiheuttaman kuormituksen seurauksena maamassasta poispäin. Tällöin maan leikkauslujuus pyrkii pitämään maamassan alkuperäisessä muodossaan ja seinään kohdistuva maanpaine pienenee siihen saakka, kunnes maamassa joutuu murtotilaan. Murtotilassa paine asettuu vakioksi. (Mts. 172.)

### 3.4 Passiivipaine

Passiivipainetarkastelu on aktiivipainetta vastaava maatilän murtorajatiloihin perustuva tarkastelu, mutta siinä myös toisella puolella rakennetta (esim. tukiseinä) on maamassaa, joka pyrkii vastustamaan seinän myötäävää liikettä. Tällöin maan lujuusominaisuudet pyrkivät jälleen pitämään maamassan alkuperäisessä muodossaan, kunnes maamassa murtuu ja kohoaa seinän takana ylöspäin. (Mts. 172.)

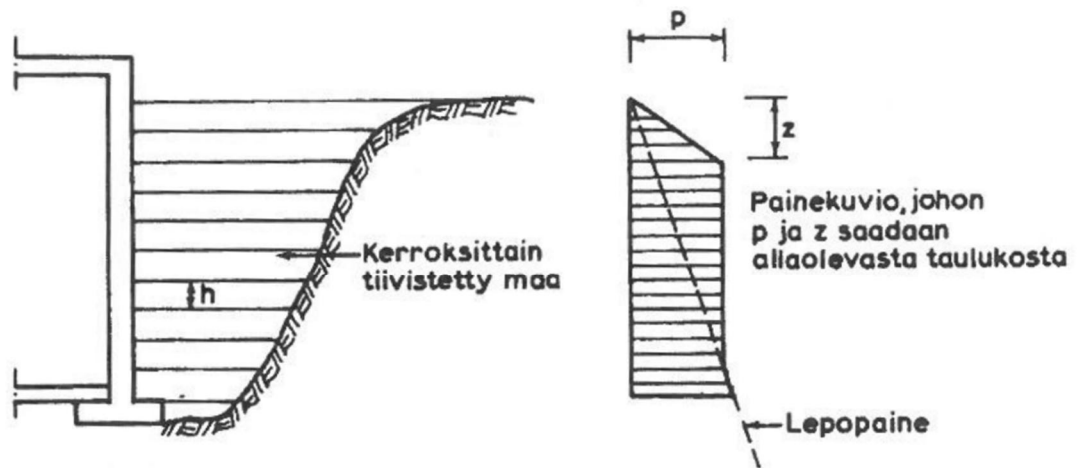
Passiivipainetilanne voi syntyä myös silloin, kun pelkästään seinän toisella puolella on maata. Tällainen tilanne on harvinainen, mutta mahdollinen esim. vesimassan aiheuttaman paineen takia. Oleellista passiivipainetilanteessa on se, että seinä pyrkii siirtymään maamassaa kohti ja aiheuttaa maamassaan kuormitusta.

Rakenteen siirtymän on aktiivipaineen täyteen kehittymiseen verrattuna oltava huomattavasti suurempi, arviolta kymmenkertainen, jotta passiivipaine kehittyisi täyteen arvoonsa (RIL 157-2 1990, 155).

### 3.5 Tiivistyksen aiheuttama paine

Maarakentamisessa jokainen tehty täyttökerros on tiivistettävä huolellisesti. Tällöin saavutetaan tasalaatuiset ja luotettavasti toimivat maarakenteet, jotka vastaavat ominaisuuksiltaan suunnitelmissa esitettyjä vaatimuksia, eikä paikallisia painumia tai muodonmuutoksia tapahdu. (RIL 121-2004, 115.)

Rakennettavan maatyön tiivistys aiheuttaa rakenteelle ylimääräistä vaakasuuntaista painetta. Kuvio 4 selviää kuinka tiivistyksen aiheuttama paine ylittää lepopaineen hieman maan pinnan alapuolella, mutta lepopaine ylittää sen syvemmillä. (Jääskeläinen 2014, 191.)



Tiivistyskone	Tiivistyskertojen määrä	Kerros-paksuus h, m	z m	p kPa
Täryjyrä, 3000 kg	6	0,40	0,5	19
Tärylevy, 400 kg	4	0,35	0,5	16
Tärylevy, 100 kg	4	0,20	0,3	12

Kuvio 4. Siirtymättömän seinän takana tehtävän täytön aikaansaama pysyvä maanpaine (Jääskeläinen 2014, 191).

### 3.6 Routimisen aiheuttama paine

Maanpaineeseinää ei kannata mitoittaa routimisen aiheuttamille paineille. Se kannattaa pysyvissä rakenteissa huomioida ennemmin maaperän kuivatuksella, joka hoidetaan salaojituksilla sekä routimisen estämisellä asentamalla tarvittavat routaeristeet. (Jääskeläinen 2014, 191.)

### 3.7 Lepopaineen mitoitus

RIL 207:n (2009, 161) mukaan, jos rakenteen siirtymä normaalikonsolidoituneessa maassa on pienempi kuin  $5 \times 10^{-4} \times h$ , oletetaan maamassan kuormittavan maanpaineeseinää lepopaineella. Yleisesti ottaen yläpäästään tasoon ja alapäästä perustuksiin tuetut kellarin seinät tai sivuilta pilareihin tuetut ja alapäästä perustuksiin tuetut tukiseinät täyttävät tämän ehdon.

Jotta saadaan selville lepopaineen  $p_0$  suuruus syvyydellä  $z$  maan pinnan alapuolella, on ensin määritettävä samalla syvyydellä vaikuttava pystyjännitys  $\sigma_z$ . Pystyjännitys kerrotaan lepopaineen kertoimella  $K_0$ . (Jääskeläinen 2014, 173-174.)

Lepopaine kertoimen määritelmä on kaavassa 1, tilannetta havainnollistaa kuvio 5.

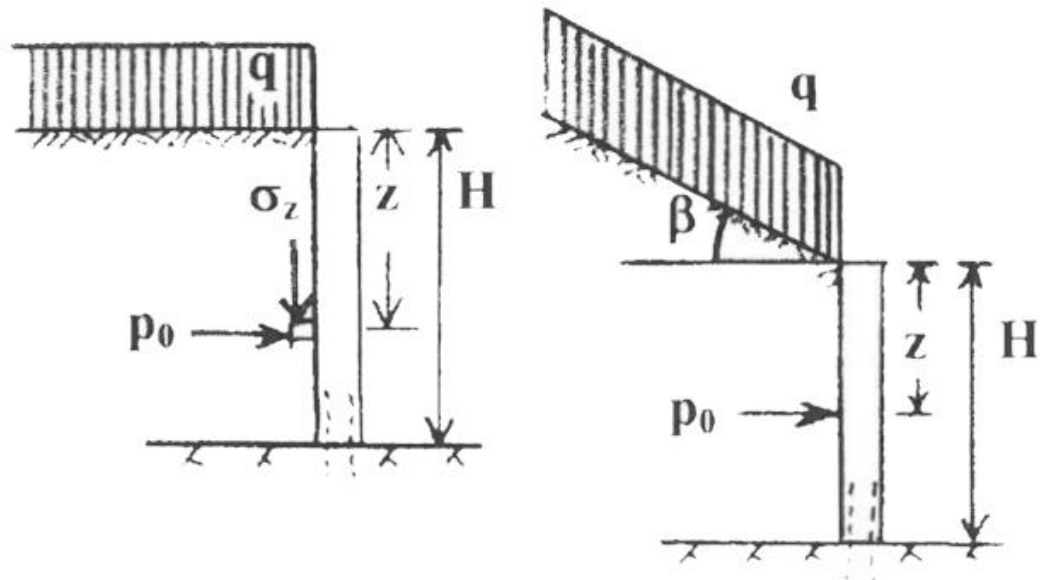
$$K_0 = 1 - \sin \varphi. \quad (1)$$

Jos maan pinta on kallellaan seinää kohti suuremmassa kulmassa, kuin maan leikkauskestävyyskulma kerrottuna osavarmuusluvulla ( $\beta \leq \phi'$ ) maan pinnan vaakatason suhteen, tällöin tehokkaan maanpaineen vaakasuuntainen komponentti  $\sigma'_{h,0}$  saadaan kuormittavan maakerroksen aiheuttamasta pystysuorasta tehokkaasta paineesta  $q'$  kaavan 2 avulla. (SFS-EN 1997-1:2014, 99.)

$$K_{0;\beta} = K_0 * (1 + \sin \beta). \quad (2)$$

Tämä on sinällään hieman irrelevantti tarkastelukohde maanpaine-elementtiseinen suhteen, koska vaikka Eurokoodi 7 tarjoaa mahdollisuuden laskea kuormituksen tällaiselle tilanteelle, tilanne on Suomen rakennusmääräyskokoelman asetuksen C2 (1998, 5) vastainen:

*"Rakennusta välittömästi ympäröivä maanpinta tontilla tai rakennuspaikalla muotoillaan rakennuksesta poispäin viettäväksi. Sopiva maanpinnan vähimmäiskaltevuus kolmen metrin etäisyyteen sokkelista on 1:20 (korkeusero vähintään 0,15 m)."*



Kuvio 5. Lepopaine havainnollistettuna (Jääskeläinen 2014, 174).

Lepopaine määritetään kaavan 3 mukaisesti, kun maan pinta on tasainen (Jääskeläinen 2014, 174).

$$p_0 = K_0 * \sigma_z = K_0 * (\gamma * Z + q) = (1 - \sin \varphi) * (\gamma * Z + q) \quad (3)$$

Mitoitukseen tarvitaan seuraavat maaparametrit, jotka saadaan esim. pohjatutkimusraportista:

$\gamma$  = maan tilavuuspaino ( $\text{kN/m}^3$ )

$z$  = syvyys maan pinnasta

$q$  = pintakuorma ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi$  = maan leikkauskestävyyskulma

Kaavaa 3 ja kuvioita 3 ja 4 tarkasteltaessa huomataan, että lepopaine kasvaa lineaarisesti sitä mukaa mitä syvemmälle maan sisälle mennään. Mikäli lepopaineen arvo  $p_0$  ei ylitä tiivistyksen aiheuttamaa painetta (esim. matalassa täytössä), maanpaineen suuruus muodostuu pelkästään tiivistyksen aiheuttamasta maanpaineesta kuvion 4 mukaisesti.

Ruotsalan ohjedokumentissa (2011, 31) mainitaan myös Bond & Harrisin teoksessa *Decoding Eurocode 7* (2008) annettu lepopaineen kaava, jota voidaan myös käyttää, mikäli kaikki lähtötiedot ovat saatavilla ja halutaan tarkka mitoitus. Mitoituslaskelmissa käytetään silti yleensä kaavan 3 mukaista yksinkertaisempaa menetelmää.

$$\sigma_h = K_0 \left( \int_0^z \gamma dz + q - u \right) + u \quad (4)$$

jossa

$\sigma_h$  = vaakasuuntainen kokonaisjännitys kohtisuoraa seinää vastaan

$K_0$  = lepopaine kerroin, joka lasketaan kohdan 16 mukaan

$z$  = syvyys maan pinnasta

$\gamma$  = maan tilavuuspaino

$q$  = pystysuuntainen pintakuorma

$u$  = huokosvedenpaine

$\sigma'$  = raepaine, maan kiviainesrungossa vallitseva puristus

Huokosvedenpainetta ei yleensä oteta rakennuksen seiniä mitoittaessa laskelmiin mukaan, koska vierustäytön maamassa oletetaan sen verran kuivaksi. Tämä siltikin, vaikka laskelmissa käytetään täysin kyllästyneen maa-aineksen tilavuuspainoa laskentaan saatavan varmuuden vuoksi.

### 3.8 Epätarkkuudet lepopaineen mitoituksessa

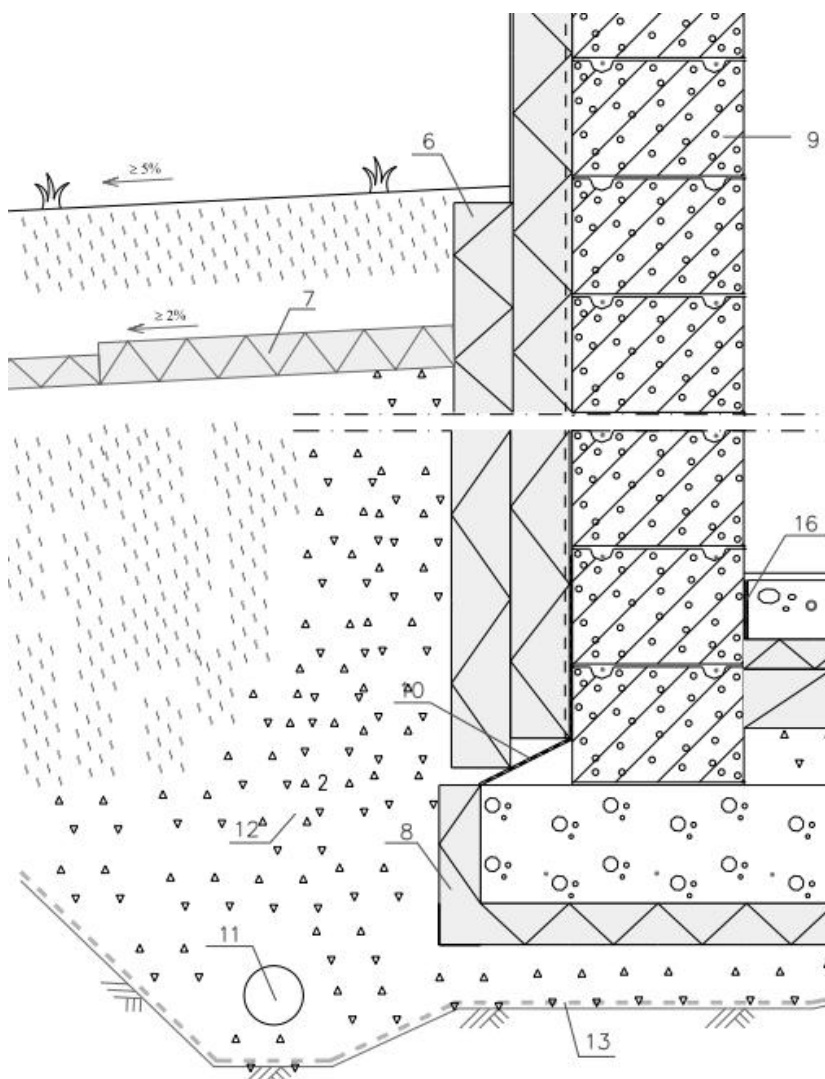
Epätarkkuutta mitoitukseen tuo se, että maanpaineseinää kuormittava maa-aines harvoin, jos koskaan on yksiaineista. Maata vasten olevan seinän varressa on oltava vettä hyvin läpäisevää ja heikosti kapillaarisesti vettä nostavaa salaojasoraa RT-kortin 81-11000 (2010, 4) mukaan vähintään 200mm rakennuskohteesta riippuen. Salaojasoran tilavuuspaino voi olla eri kuin täyttömaalla.

Kuvion 6 mukaisesti maan pinnan alle asennetaan tiheydeltään maa-ainesta kevyempi routaeriste, joka keventää maamassan kuorman suuruutta hieman. Routaeris-

teen paksuus vaihtelee hyvin paljon rakennuskohteen ja rakennuksen maantieteellisen sijainnin mukaan. Täyttömaakerrosten maa-aineksen laatu ja kerrospaksuudet saattavat lisäksi vaihdella riippuen maaurakoitsijan toimintatavoista sekä suunnitelmista. Jääskeläisen (2014, 174) mukaan on myös harkittava, kuinka suuri pintakuormitus  $q$  voi esiintyä rakenteen käyttöaikana, jotta lepopaine kuorman suunnitteluarvo olisi riittävän suuri vastaamaan todellista tilannetta.

Tässä tapauksessa voidaan myös pohtia salaojien toimivuutta, eli sitä miten kuivaa maa-aines maanpaine seinän vierellä on. Sitäkään ei otettu huomioon tässä opinnäytetyössä huomioon, vaan oletettiin että maa on jatkuvasti läpimärkää eli käytettiin vedellä kyllästyneen maan tilavuuspainoa laskelmissa.

Opinnäytetyön tuloksena tehtävä suunnitteluohje olisi paisunut liian laajaksi, jos nämä kaikki olisi otettu huomioon laskelmissa, joten laskelmia oli yksinkertaistettava. Nämä kaikki yllä mainitut mitoituksen lähtöarvojen epätarkkuuksiin perustuvat yksinkertaistukset kasvattavat lepopaineen suuruutta eli vievät laskelmaa turvalliselle puolelle, joten kaikki on vain "ylimääräistä" varmuutta. Päätelmieni perusteella ylimääräisen varmuuden suuruus vaihtelee noin 5-15% riippuen maa-ainesten laadusta ja eristepaksuuksista.



Kuvio 6. Poikkileikkausdetalji harkkorakenteisen perusmuurin vierustäytöstä (Finnfoam rakennekortti CW01, 2017).

## 4 Kantavien rakenteiden suunnitteluvaatimukset

### 4.1 Perusvaatimukset

Rakenne on suunniteltava ja rakennettava siten, että se säilyttää koko suunnitellun käyttöikänsä ajan tarpeellisen luotettavuus- ja kestävyystasonsa ja säilyy käyttökelpoisena vaadittuun tarkoitukseensa. Tällä tarkoitetaan sitä, että rakenne kestää kaikki todennäköiset kuormat ja olosuhdevaikutukset, myös vaaditun ajan mittaisen tulipalotilanteen. (RIL 201-1-2009, 23.)



Rakenteet tulee suunnitella sellaisiksi, että onnettomuustilanteen (esim. räjähdys, törmäys tai muu vastaava inhimillinen erehdys) aiheuttamat vauriot rakennukselle eivät kasva alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna suhteettoman laajoiksi. Tämä hoidetaan valitsemalla vaurioita paremmin sietäviä rakenneratkaisuja, jotka eivät sorru varoittamatta. (Mts. 23.)

Perusvaatimukset hoidetaan maanpaineseinän osalta valitsemalla sellaiset betonin lujuudet ja raudoittemäärät ja -laadut sekä rakenteiden paksuudet, joilla rakenne kestää sille annetut pysty- ja vaakasuuntaiset kuormat. Muita onnettomuustilanteita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä kuin tulipalotilanne ja jatkuvan sortuman estäminen.

## 4.2 Seuraamusluokat

Eurokoodeissa kantavat rakenteet jaetaan kolmeen erilaiseen seuraamusluokkaan sen perusteella, miten suuri riski on menettää ihmishenkiä tai riski suuriin taloudellisiin, sosiaalisiin ja ympäristön kannalta haitallisiin vahinkoihin. Kuormakerroin  $K_{FI}$  valitaan seuraamusluokan mukaan. (RIL 201-1-2009, 24.)

Taulukko 2. Seuraamusluokkien CC määrittely (RIL 201-1-2009, 24).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Kuormakerroin
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Esim. konserttitalo	$K_{FI} = 1,1$
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetyksen tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Esim. asuin- ja liikerakennukset	$K_{FI} = 1,0$
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetyksen tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Esim. kasvihuone, grillikatos	$K_{FI} = 0,9$

Opinnäytetyössä käsiteltävä maanpaineseinä luokitellaan seuraamusluokan CC2 rakenteeksi, jolloin kerroin  $K_{FI}$  on 1,0.

### 4.3 Suunniteltu käyttöikä ja säilyvyys

Käyttöikäsuunnittelussa suunnittelija valitsee rakenteelle ympäristöolosuhteisiin perustuvat rasitusluokat ja käyttöiän, jonka ajan rakenteen tulee täyttää sen toiminnalliset vaatimukset kyseisissä rasitusluokissa. Rasitusluokkien mukaiset betonipeiteetäisyydet ja betonin laatuvaatimukset pohjautuvat suurimmilta betoniterästen korroosion ja betonin pakkasrapautumisen ehkäisyyn. Rasitusluokkaa ei saa tarpeettomasti ylittää, koska se tekee betonointityöstä hankalampaa ja kalliimpaa. (by 51 2007, 11.)

Erilaisia keinoja saada rakenne täyttämään eri rasitusluokat suunnittelijalla on mahdollisuus valita pakkasenkestävä huokoistettu betoni, tarpeeksi suuri betonipeitteen paksuus estämään terästen korroosio tai tarpeeksi tiivis betoni kloridien tunkeutumisesta vastaan. Terästen korroosio voidaan estää täysin, joskin hintavasti käyttämällä ruostumattomia raudotteita. (Mts. 11-25.)

Rakenteen käyttöikäsuunnittelussa huomioon otettavia asioita ovat mm. vallitsevat ympäristöolosuhteet, materiaaliominaisuudet, rakenneosien detalleerit ja liitokset, rakentamisen laatu, ylläpito ja valvontataso. (RIL 201-1-2011, 26.)

Rasitusluokat selitteineen ovat listattu opinnäytetyön liitteessä 1.

Maanpaineseinän osalta käyttöikäsuunnittelussa täytyy ottaa huomioon kosteus- ja pakkasrasitus, koska se rakennuksen julkisivulla näkyvissä ja se on alttiina kastumiselle ja jäätymiselle. Seinän tulee täyttää rasitusluokkien XC3, XC4 ja XF1 vaatimukset. Maanpaineseinän kosteusrasitusluokitus johtuu sateesta ja ulkoilman kosteudesta. Maaperän kosteus ei vaikuta tilanteessa millään tavalla, koska se ei saa päästä tunkeutumaan rakenteeseen. Maan alle tulevat rakenteet suojataan maakosteudelta yleensä joko ns. patolevyllä tai bitumihuovalla tai näiden yhdistelmällä.

Käyttöikämitoitus voidaan tehdä kahdella eri tavalla, laskennallisella menetelmällä ja taulukkomitoituksena. Tässä opinnäytetyössä käsitellään taulukkomitoituksen menetelmä. Taulukkomitoitus on yksinkertainen tapa, joka ei kuitenkaan mahdollista optimointeja. Pääsääntöisesti betonirakenteet mitoitetaan 50-200 vuoden käyttöikää ajatellen. (by 68 2016, 11-12.)

By 68:n taulukosta 16 voidaan lukea, että rakennuksen perusmuurin käyttöiäksi määrittäessä 50 vuotta (tavanomainen elementtirakenteille) vaaditaan käytettäväksi vähintään C30/37 -lujuusluokan betonia ja 35mm betonipeitteen nimellisarvoa, mikäli käytössä ovat tavanomaiset betoniteräsraudoitteet. Ruostumattomille raudoitteille määritetään 20mm betonipeitteen nimellisarvo. (by 68 2016, 55.)

#### 4.4 Palomitoitus

Kantavilla teräsbetonirakenteille täytyy tehdä mitoitus Eurokoodin EN 1992-1-2 (rakenteellinen palomitoitus) mukaisesti. Eurokoodissa on kolme erilaista tapaa määrittää rakenteiden palonkesto. Tuotantotaloudellisesti tehokkain tapa on kehittyneet laskentamenetelmät, joilla päästään pienempiin peitepaksuuksiin ja pilarin poikkileikkauksiin. Toinen tapa on yksinkertaistetut laskentamenetelmät ja kolmantena yksinkertainen taulukkomitoitus. (Leaflet osa 5 2009, 1.)

Mitoitus tulipalotilanteelle hoidetaan tämän opinnäytetyön tapauksessa taulukkomitoituksin, joiden perusteella betonirakenteelle määritetään riittävän paksu raudoitus-teräksiä suojaava betonipeite, jotta rakenneteräkset pysyvät tulipalon kuumuudelta suojassa vaaditun ajan. Standardipalonkestävyysluokka REI määräytyy mm. rakennustyyppin sekä käyttötavan mukaan ja se saadaan Ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten paloturvallisuudesta eli RakMK E1:stä.

Esimerkkinä: kerrostalon kantavan rungon osalta luokka on yleensä REI60. Jos hyväksikäyttöaste on 0,7 ja altistus vain toiselta puolelta (maanpaineisinä), tällöin seinän vähimmäispaksuudeksi saadaan 130mm ja pääterästen keskiöetäisyydeksi 10mm. Kuten taulukossa 3 on mainittu, nämä mitat ylitetään standardin EN 1992-1-1 mukaisilla vähimmäismitoilla.

Taulukko 3. Kantavien betoniseinien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot (SFS-EN 1992-1-2:2005, 42).

Standardi- palonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Seinän paksuus / keskiöetäisyys			
	$\mu_n = 0,35$		$\mu_n = 0,7$	
	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä. Ks. kohdasta 5.3.2 (3) hyväksikäyttöasteen $\mu_n$ määritelmää.				

Palotilanteen hyväksikäyttöaste on  $\mu_{fi} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$ , eli normaalivoiman mitoitusarvo palotilanteessa jaettuna pilarin kestävyuden mitoitusarvolla normaalilämpötilassa. 0,7 on turvallisemmalla puolella mitoituksen kannalta.

#### 4.5 Jatkuvan sortuman estäminen

Jatkuva sortuma tarkoittaa paikallisen vaurion aiheuttamaa ketjureaktiona etenevää sortumaa, joka saattaa aiheuttaa koko rakennuksen sortumisen. Paikallisena vauriona tarkoitetaan tässä tapauksessa yksittäisen rakenneosan vaurioitumista, esim. pilarin murtumista tai seinän kaatumista. Jatkuva sortuma estetään suunnittelemalla elementtiliitokset onnettomuuden aiheuttamille poikkeuksellisille kuormitustilanteille, esim. sitomalla elementit toisiinsa saumateräksin tai liitosten teräsosien avulla. (Betoninormikortti 23\_EC 2012, 2-3.)

Jatkuva sortuma estetään sitomalla kantava tai jäykistävä seinäelementti vaakasuuntaisesti välipohjatasoon yläreunastaan. Liitosta havainnollistaa kuvio 9. Seinäelemen-

tin sidonta välipohjaan mitoitetaan kuormalle, joka on 20 kN voima per seinän pituusmetri, enimmillään kuitenkin 150 kN:n suuruinen voima. 150 kN:n rajoitus pätee jokaiseen seuraamusluokkaan, myös vaativimpaan CC3-luokkaan. Sidonta suoritetaan elementin yläreunaan asennettavilla harjaterästapeilla. Tapit muodostavat ontelolaattakentän rengas- ja saumaraudoitusten kanssa jatkuvan sortuman estävän rakenteen. (Mts. 31.)

Elementin yläreunan tappiliitoksen leikkauskapasiteetti lasketaan kaavalla 5 (Mts. 42).

$$V_{Rd} = \frac{1,2 * \emptyset^2 * \sqrt{f_{ck} * f_{yk}}}{\gamma_{c,acc}} \quad (5)$$

jossa

$V_{Rd}$  = tappiliitoksen leikkauskapasiteetti

$\emptyset$  = tapin halkaisija

$f_{ck}$  = seinäelementin betonin lujuusluokka

$f_{yk}$  = teräksen myötölujuus

$\gamma_{c,acc}$  = betonin kestävyys osavarmuusluku onnettomuuskuormayhdistelmille (tässä tapauksessa kertoimen arvo on 1,2)

Kaavaa 5 käytettäessä yhdelle halkaisijaltaan 20 millimetriä paksulle A500HW-lujuusluokan harjaterästangolle saadaan leikkauskestävyydeksi 52,9kN, mikäli seinäelementin betonin lujuusluokka on C35/45. 150 kN:n sidevoiman suuruusehto täyttyy tällöin asentamalla seinäelementin yläreunaan kolme 20mm harjaterästäpiä.

## 5 Rajatilamitoitus ja kuormayhdistelmät

### 5.1 Yleistä

Rajatilamitoituksessa rakennetta tarkastellaan kahdessa erilaisessa rajatilassa, joita ovat murtorajatilat ja käyttörajatilat. Kumpikaan näistä rajatiloista ei saa ylittyä mitoituksen aikana. Rajatilamitoitus perustuu kyseistä rajatila varten ennalta muodostettuihin rakenne- ja kuormitusmalleihin. Tarkastelu suoritetaan useille erilaisille mitoitustilanteille ja kuormitustapauksille. (RIL 201-1-2011, 28.)

Tässä opinnäytetyössä rajatilatarkastelun piiriin kuuluu ainoastaan teräsbetoniseinä. Maapohjan rajatiloja ei tarvitse tarkastella, koska maamassassa ei esiinny liikehdintää ja maanpaine muodostuu lepotilakuormituksen kautta.

### 5.2 Kuormien luokittelu

Kuormat luokitellaan ajallisen vaihtelun mukaan pysyviin kuormiin (G) ja muuttuviin kuormiin (Q). Pysyviksi kuormiksi lasketaan periaatteessa kaikki kuormat, jotka ovat läsnä rakennuksen koko elinkaaren läpi. Näistä esimerkkeinä ovat mm. rakenteiden omat painot ja kiinteästi asennettavien laitteiden painot. Muuttuvia kuormia ovat hyötykuormat, kuten ajoneuvoliikenne maan pinnalla, tuuli ja rakennuksen käytöstä tulevat kuormat esim. huonekaluista ja ihmisistä. (RIL 201-1-2011, 29.)

### 5.3 Murtorajatilat

Murtorajatila on tila, jossa rakenneosaa menettää kykynsä toimia kantavana rakenteena. Murtorajatila aiheuttaa ihmisille ja omaisuudelle välittömän vaaran. Erilaisia murtorajatiloja ovat jäykän kappaleen tasapainon menetys, liian suuri siirtymätila (esim. taipuma), rakenteen katkeaminen, murtuminen, vaurioituminen, ja näistä mahdollisesti johtuva rakenteen muuttuminen mekanismiksi. Myös pitkäaikainen väsyminen luetaan murtorajatilaksi ja sitä tarkastellaan suunnitellun käyttöiän kautta. (RIL 201-1-2011, 27-28.)

Murtorajatilatarkasteluihin liittyy olennaisesti erilaisten osavarmuuslukujen käyttö (SFS-EN 1990:2006, 54). Osavarmuusluvuilla pääsääntöisesti pienennetään materiaalin keskimääräistä kestävyysarvoa ja suurennetaan keskimääräisiä kuormien arvoja.

Murtorajatilatarkasteluihin kuuluu useita erilaisia tarkasteluja (mm. EQU, STR, GEO), joissa tarkastellaan rakenteen kestävyysarvoa eri tavalla syntyvien rasitusten raskauttamana. Opinnäytetyön maanpaineeseen kannalta tärkein tarkastelu on STR-rajatila, jossa tutkitaan betoniseinän rakenteellista kestävyyttä maanpainetta vastaan.

## EQU

EQU-rajatilatarkastelussa keskeisin asia on rakenteen tai sen osan tasapainotilan määrittäminen, kun sitä tarkastellaan jäykkänä kappaleena, jossa rakennemateriaalien lujuudet ovat merkityksettömiä kestävyysarvojen aikaansaamisessa. (RIL 201-1-2011, 35.)

Staattisen tasapainon rajatilaa tarkastaessa tulee osoittaa, että:

$$E_{d,dest} \leq E_{d,stb} \quad (6)$$

jossa

$E_{d,dest}$  rakenteen tasapainoa heikentävien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo

$E_{d,stb}$  rakenteen tasapainoa parantavien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo

Staattisen tasapainon ehtoa voidaan tarvittaessa täydentää lisätermien, jotka sisältävät esim. jäykkien kappaleiden välisen kitkakertoimen. (SFS-EN 1990:2006, 78.)

Jääskeläisen (2014, 345) mukaan EQU-rajatila on geotekniikassa harvinainen tarkastuskohde, josta esimerkkinä olisi kallion päälle rakennetun ankkuroiduttoman tukimuurin kaatuminen.

## STR

STR-rajatilatarkastelu koskee rakenteen tai rakenneosien sisäistä murtumista tai liiallista muodonmuutosta. Rakenteellisina esimerkkeinä toimivat palkit, paalut tai maanpaineseinät. Tässä tarkastelussa rakennemateriaalien lujuus on merkittävä rakenteen kestävyiden aikaansaamisessa. (SFS-EN 1990:2006, 76.)

$$E_d \leq R_d \quad \text{STR-rajatilatarkastelun mitoitusehto} \quad (7)$$

jossa

$E_d$  kuormituksen mitoitusarvo

$R_d$  kestävyiden mitoitusarvo

Tarkasteltaessa rakenneosan liiallisen muodonmuutoksen arvoa, tulee osoittaa, että mitoitusehto täyttyy. (Mts. 78.)

## GEO

GEO-rajatilassa tarkastellaan rakennuspohjan (maa-aineksen) soveltuvuutta kantaan rakenteilta tulevat kuormat. Rajatilassa tutkitaan rakennuspohjan murtuminen tai liian suuri muodonmuutos, jolloin maan tai kallion lujuus on merkittävässä osassa tarkasteltaessa maapohjan kestävyttä. GEO-rajatilassa on sama mitoitusehto kuin STR-rajatilassa, ehdon  $E_d \leq R_d$  on täyttyävä. (Mts. 76.)

## UPL

Rakenteen tai maapohjan tasapainotilan menettäminen vedenpaineen aiheuttamasta nosteesta tai muista pystysuuntaisista kuormista (RIL 201-1-2011, 35).

## HYD

Hydraulinen maapohjan nousu, sisäinen eroosio ja sisäinen putkieroosio maassa (Mts. 35).



## FAT

Rakenteen tai rakenneosien väsyminen ajan kanssa (Mts. 35).

### 5.4 Käyttörajatilat

Käyttörajatila on rajatila, jossa rakennetta tai rakenneosaa tarkastellaan normaalikäytössä liittyen ihmisten mukavuuteen tai rakennekohteen ulkonäköön. Siinä tarkastellaan mm. siirtymät, värähtelyt ja rakenteen ulkonäköön ja säilyvyyteen liittyvät vauriot. Rajatilan ylittyminen ei aiheuta välitöntä turvallisuusriskiä. (RIL 201-1-2011, 28.)

Käyttörajatilatarkastelussa tulee osoittaa, että:

$$E_d \leq C_d \quad (8)$$

jossa

$E_d$  käyttökelpoisuuskriteereissä määriteltujen kuormien vaikutusten mitoitusarvo

$C_d$  käyttökelpoisuuskriteerien mukainen rajoittava mitoitusarvo

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä halkeamaleveyksien tarkastelua, taipumien tarkastelua eikä muita käyttörajatiloihin liittyviä tarkasteluja.

### 5.5 Osavarmuuslukumenetelmä

Osavarmuuslukumenetelmä perustuu siihen, että yhdessäkään mitoitusilanteessa ei ylitetä tarkasteltavaa rajatilaa, kun käytössä ovat kuormien ja kestävyyksien mitoitusarvot. Mitoitusarvot saadaan kertomalla ominaisarvot osavarmuuslukujen ja muiden kertoimien kanssa. (RIL 201-1-2011, 34.)

Muuttuva kuorma esiintyy täysimääräisenä harvoin. Kun tällaisia kuormia on useita, joiden täysimääräinen vaikutustodennäköisyys on hyvin pieni, on vielä epätodennäköisempää, että ne vaikuttavat samanaikaisesti. Kuormien yhdistely perustuukin sii-

hen, että kaikkien kuormien ei oleteta vaikuttavan yhtä aikaa maksimivoimakkuudellaan, vaan niitä yhdistellään eri kuormitusyhdistelmien mukaan siten, että syntyvien kuormitusten esiintymistodennäköisyys olisi mahdollisimman lähellä todellisuutta. Muuttuvia kuormia yhdistellään kertomalla niitä liitteen 2 mukaisen taulukon kertomilla, kun lasketaan esimerkiksi maanpaineseinän pystysuuntaisen kuormituksen  $n_{Ed}$  suuruutta. (RIL 201-1-2011, 34; by 211 2015, 27.)

## 5.6 Eurokoodin mukaiset geotekniset mitoitus tavat

Eurokoodi 7 määrittää geotekniseen suunnitteluun kolme erilaista osavarmuuslukuihin perustuvaa mitoitus tapaa. Suomen kansallisen liitteen mukaan mitoitus tapaa 1 ei käytetä Suomessa (RIL 207-2009, 53).

Mitoitus tapaa 2 käytetään Suomessa antura-, ja laattaperustusten, ankkureiden, tukirakenteiden ja paaluperustusten suunnittelussa. Sen toteutuksessa on kaksi erilaista toteutus tapaa liittyen osavarmuuslukujen käyttöön, jotka ovat DA2 ja DA2\* (DA = Design Approach). Mitoitus tavan DA2\* mukaan osavarmuuslukuja käytetään vasta laskelman lopussa murtorajatilatarkastelussa ja itse laskentoihin käytetään pelkkiä ominaiskuormia. Mitoitus tavassa DA2 osavarmuusluvuilla kerrotaan sen sijaan kuormat heti laskennan alkuvaiheessa. (RIL 207-2009, 53 ja Jääskeläinen 2014, 346)

Mitoitus tapa 3 on Suomessa käytössä silloin, kun mitoitetään luiskia ja tarkastellaan kokonaisvakavuutta. (Jääskeläinen 2014, 346.)

Geoteknisen mitoituksen osavarmuusluvut annetaan Eurokoodissa 7 kolmelle eri tekijälle; kuormille (A), maaparametreille (M) ja kestävyydelle (R). Mitoitus tapaa DA2 tai DA2\* käytettäessä käytetään osavarmuuslukuyhdistelmää A1 "+" M1 "+" R2. Yhdistelmän osavarmuusluvut saadaan taulukoista 4, 5 ja 6. (Jääskeläinen 2014, 347.)

Kulmatukimuurin tapauksessa on olemassa rakenteen kannalta edullisia maamassan aiheuttamia kuormia, jotka vakauttavat rakennetta. Opinnäytetyössä käsiteltävän maanpaineen kuormittaman seinäelementin tapauksessa kaikki maanpaine kuormitus on kuitenkin aina epäedullista rakenteen kannalta.

R2-sarjan kertoimia ei tarvitse ottaa huomioon, koska lepopainemitoituksessa maaperään ei synny rajatiloja, joita varten kertoimia käytettäisiin.

Kuormien yhdistelmänä käytetään seuraavista yhtälöistä sitä, joka tuottaa rakenteen toimivuuden kannalta epäedullisemman ratkaisun (Mts. 348):

$$1,15 * K_{FI} * G_{kj,sup} + 0,9 * G_{kj,inf} + 1,5 * K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5 * K_{FI} * \sum_{i>1} \psi_{0,1} * Q_{k,i} \quad (9)$$

$$1,35 * K_{FI} * G_{kj,sup} + 0,9 * G_{kj,inf} \quad (10)$$

joissa

$K_{FI}$  = seuraamusluokan määräämä kerroin, opinnäytetyön tapauksessa 1,0

$Q_{k,1}$  = ensimmäinen muuttuva kuorma, jos kuormia on monta

$G_{kj,sup}$  = pysyvä kuorma, epäedullinen rakenteen kannalta

$G_{kj,inf}$  = pysyvä kuorma, edullinen rakenteen kannalta

Kertoimen  $\psi$  arvot saadaan liitteen 2 taulukosta.

Taulukko 4. Kuormien ( $\gamma_F$ ) tai kuormien vaikutusten ( $\gamma_E$ ) osavarmuusluvut (SFS-EN 1997:2014, 124).

Kuorma		Merkintä	Sarja	
			A1	A2
Pysyvä	Epäedullinen	$\gamma_G$	1,35	1,0
	Edullinen		1,0	1,0
Muuttuva	Epäedullinen	$\gamma_Q$	1,5	1,3
	Edullinen		0	0

Taulukko 5. Osavarmuusluvut maaparametreille ( $\gamma_M$ ) (SFS-EN 1997:2014, 124).

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Leikkauskestävyyskulma <sup>a</sup> ("kitkakulma")	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_c$	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Puristuslujuus	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Tilavuuspaino	$\gamma_f$	1,0	1,0
<sup>a</sup> Tätä kerrointa käytetään $\tan \varphi'$ :in			

Taulukko 6. Kestävyyden osavarmuusluvut ( $\gamma_R$ ) tukirakenteille (SFS-EN 1997:2014, 128).

Kestävyys	Merkintä	Sarja		
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Liukumiskestävyys	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0
Maanpaine	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,4	1,0

## 6 Teräsbetoninen seinäelementti

### 6.1 Yleistä teräsbetonirakenteista

Teräsbetoni on kovettuneen betonimassan ja raudoitustankojen yhdistelmä. Betonin merkittävin ominaisuus on hyvä puristuskestävyys. Betonin vetolujuus sen sijaan on verrattain pieni, noin 10% puristuslujuudesta. Teräsbetonirakenteet suunnitellaan siten, että betoni ottaa vastaan puristusjännitykset ja raudoitusteräokset ottavat vastaan vetojännityksen. (Betonin lujuus, N.d.)

Betonilla on useita eri suunnittelulujuuksia C12/15 -luokasta aina korkealujuusbetoneihin C90/105 asti (Leskelä 2008, 33). Lujuusluokitus annetaan betonin puristuslujuuden perusteella (Mts. 29). Elementtirakentamisessa yleisimmät lujuusluokat seinille ovat C25/30-C35/45 -lujuusluokkien välistä.

Suomessa betonirakenteissa yleisimmin käytettävimmät raudoitusteräsvalmisteet ovat kuumavalssattu harjateräs B500B (vaihtoehtoinen vanha tunnus A500HW) ja kylmämuokattu ruostumaton harjateräs B600KX.

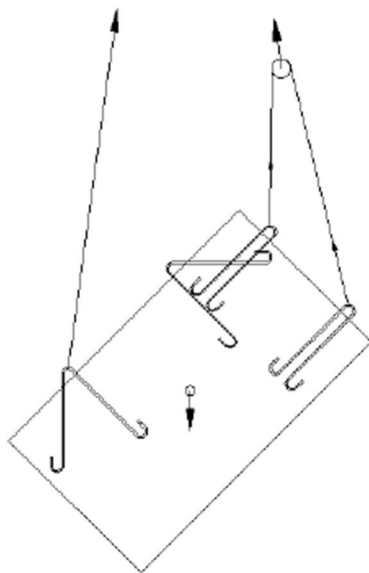
### 6.2 Elementtitekniikka

Betonielementit ovat betonitehtaalla esivalmistettuja rakenneosia. Teollisella tuotannolla päästään parempaan rakentamisen laatuun ja pystytään nopeuttamaan rakennusurakointia. Elementtirakentamisella saadaan rakentaminen kaikin puolin taloudellisemmaksi alhaisempien kustannusten ja tehokkaan materiaalien hyötykäytön kautta. Lisäksi työturvallisuus on helpompi hoitaa tekemällä työ etukäteen tehtaissa hyvissä olosuhteissa, samalla vähentäen työmaalla haasteellisissa oloissa tehtävää työtä. (Leskelä 2008, 519; Teollinen valmisosarakentaminen N.d.)

Maanpainesinäelementit eivät sinänsä eroa elementtitekniikaltaan paljoakaan muista seinäelementeistä. Betonitehtaalla seinäelementit valmistetaan yleensä vaakatasossa teräspintaissä kippimuottipöydissä, jolloin muotin teräspinta mahdollistaa laajat, sileät ja tasaiset pinnat ilman muottisiteiden jälkiä (Huhtiniemi, S. & Kiviniemi, J. 1991, 23; Elementtipinnat N.d.).

Elementin nostolenkit mitoitetaan ja sijoitetaan elementtiin samalla tavalla kuin muissakin seinäelementeissä. Kuljetus ja nostot -artikkelin (N.d) mukaan suunnitelmissa on määritettävä elementtiin mahdollisesti asennettavat kuljetusaikaiset tuet, jotta elementti ei vaurioidu kuljetuksessa, määritettävä elementin vaadittu lujuus nostotilanteessa sekä ohjattava, miten, missä kulmassa ja minkälaisella nostokalustolla elementtiä saa nostaa.

Mikäli elementin korkeus ylittää kuljetusteknisen maksimikorkeuden 4,2 metriä, elementti suunnitellaan käännettävänä elementtinä, ns. kääntökivenä. Kääntökivissä nostolenkit sijoitetaan myös elementin kylkeen kuvion 7 mukaisesti. (Seinien mittasuositus N.d.)

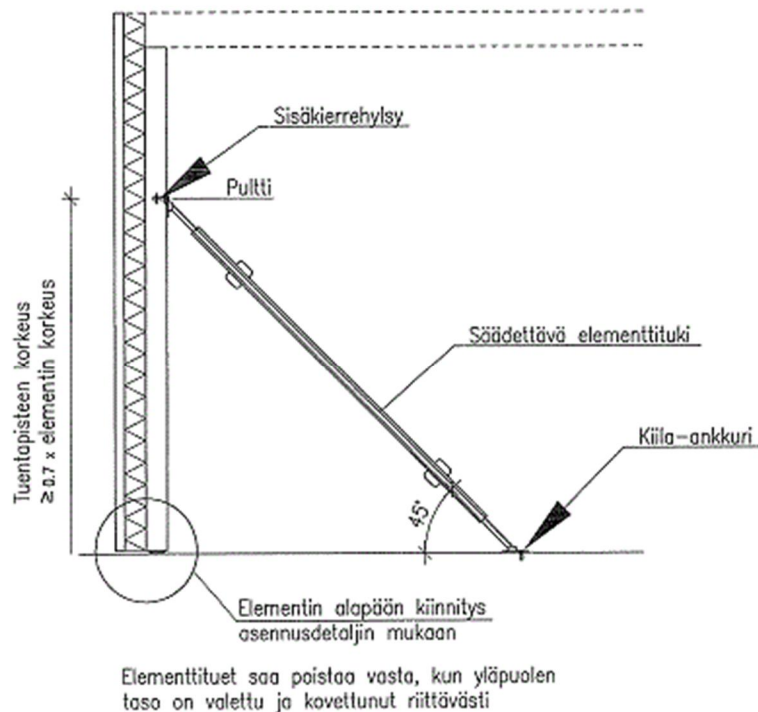


Kuvio 7. Elementin kääntäminen kääntöpyörän avulla (Nostolenkit ja ankkurit 2010).

Elementin nostolenkit kääntökivissä on mitoitettava siten, että nostolenkeillä on riittävä kapasiteetti sellaisessa tilanteessa, jossa koko elementin paino on yhden nostolenkin varassa. Lisäksi on huomioitava, että nostolenkin kapasiteetti on riittävä myös nostotapahtuman vinossa kuormituksessa. (Nostolenkkiesite N.d.)

Elementtisuunnitelmissa on määritettävä, millaisia väliaikaistuentoja käytetään. Yleisin väliaikaistuentatapa on elementtitukien ts. "tönärien" käyttö, joilla pystysuuntaiset elementit tuetaan vaakasuuntaisiin holveihin. Suunnitelmissa on otettava kantaa

siihen, kuinka monta tuentaa elementtiä kohti tulee asentaa, määrittää kiinnityskohdat sekä myös ajankohta, milloin tuennat saa purkaa. Elementtitukia on oltava vähintään kaksi kappaletta per elementti. (Kuljetus ja nostot N.d.)



Kuvio 8. Sandwich-elementin tuenta elementtituilla (Kuljetus ja nostot N.d.).

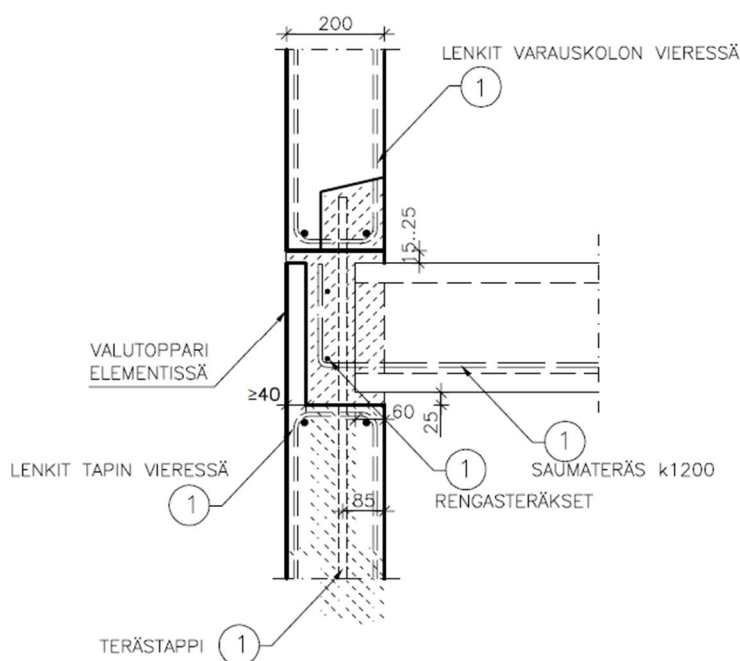
Maanpaineiseinäelementtien asennusaikainen tuenta suoritetaan työmaalla vastaavalla tavalla kuin muidenkin seinäelementtien kohdalla. Kuviossa 8 on määritetty sandwich-elementin työnaikainen tuenta, joka ei poikkea periaatteeltaan maanpaineiseinäelementin tuennasta. Seinää ei saa kuormittaa maanpaineella ennen kuin sen liitosten (valut, anturan ulokkeet, saumat) lujuus on riittävä. Jos seinää joudutaan kuormittamaan maanpaineella ennen kuin lujuus on riittävä, elementin väliaikainen tuenta esim. elementtituilla rakennuksen sisäpuolelta on mitoitettava riittävän kestäväksi.

### 6.3 Liitosdetaljit ympäröiviin rakenteisiin

Elementtisuunnittelu.fi-sivusto jakaa tietoa rakentamisesta betonielementtiratkaisuin ja ylläpitää detaljikirjastoa runko- ja elementtiliitoksista. Liitokset (N.d) -ohjodokumentissa suositellaan, että detaljikirjaston elementtien vakioliitoksia käytetään kaikissa perustapauksissa, koska tällöin elementtien valmistaminen on betonitehtaille helpompaa ja nopeampaa, eikä työmaallekaan tule liitosten suhteen yllätyksiä.

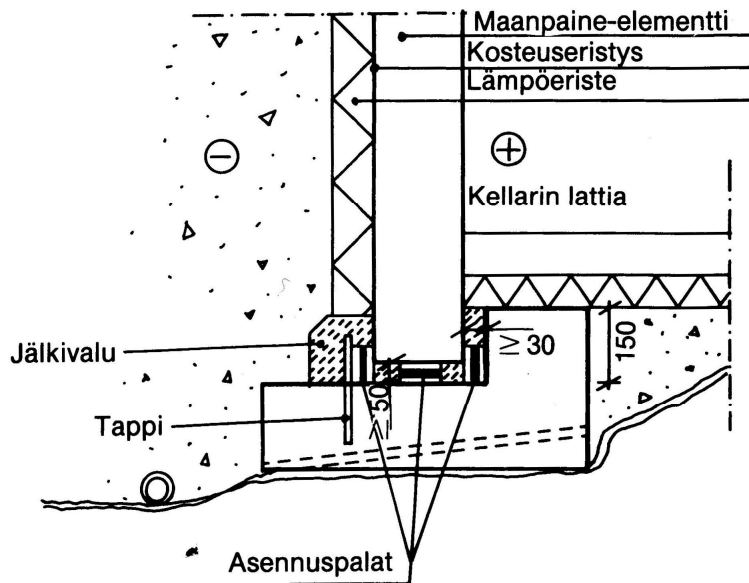
Maanpaine-elementtiä tarkastellessa ylä- ja alapään tuennat toteutuvat tavanomaisimmin liitoksina ympäröiviin rakenteisiin. Elementin yläpää liittyy tasoon, esim. ontelolaatastoon ja ylempään ulkoseinään ja alapää maanvastaiseen anturaan tai paalulaattaan. Pystysuuntaisia lisätuentoja voi tulla esimerkiksi kellaritilan väliseinistä tai pilareista.

Seuraavana kaksi periaatteellista esimerkkiä vakioliitosdetaljeista, kuinka maanpaine-seinä liittyy ala- ja yläpäästään sekä sivuistaan ympäröiviin rakenteisiin.



Kuvio 9. Ontelolaatan liitos seinään (Runkoliitos DO503, 2013).





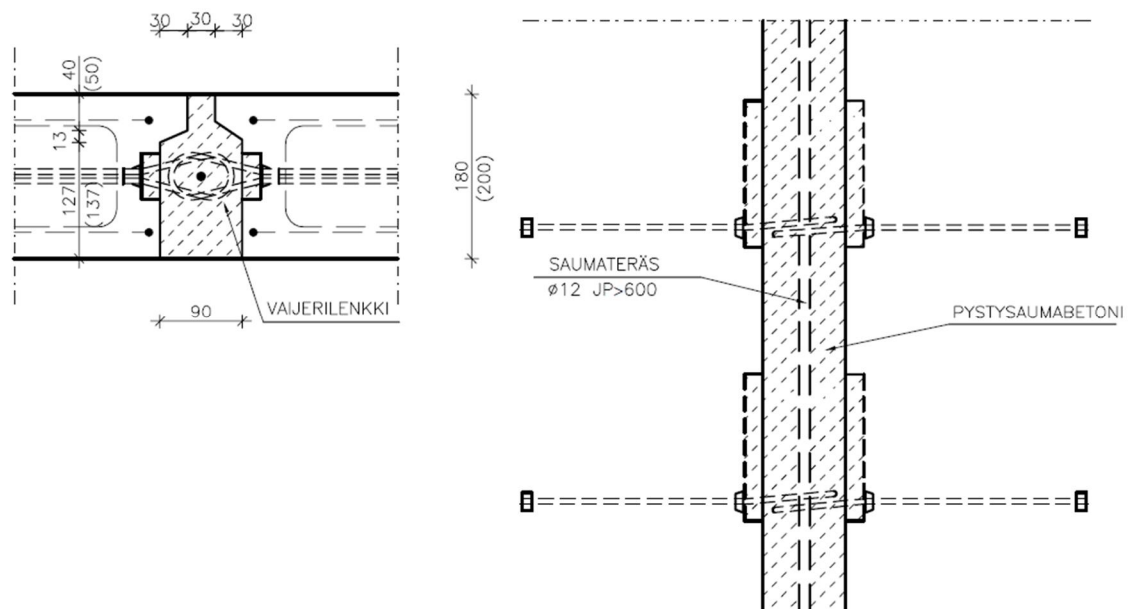
Kuvio 10. Maanpaine-elementin asennus (Huhtiniemi & Kiviniemi 1991, 135).

Kuviossa 10 havainnollistetaan, kuinka maanpaine-elementin ja anturan liitos saadaan kestäämään maanpaineen aiheuttamaa leikkausrasitusta. Anturaan valetaan rakennuksen sisälinjalle raudoitettu jatkuva uloke. Uloke voidaan mitoittaa esimerkiksi samalla tavalla kuin elementin yläreunan tappirauditus jatkuvaa sortumaa vastaan hyödyntäen harjaterästappien leikkauskestävyyttä. Lyhyen ulokkeen mitoituskaavaa ei välttämättä voida käyttää, koska usein uloke valetaan vasta elementin asennuksen jälkeen, jolloin anturan ja ulokkeen välille tulee työsauma. Tällaisista toteutukseen liittyvistä asioista suunnittelijan on sovittava työmaan kanssa yhteinen menettelytapa, jotta suunnitelmissa ei käytetä väärää mitoitus tapaa.

Maanpaine-seinäelementtien päätyjen kiinnitys toisiin elementteihin, kuten toisiin seinäelementteihin tai pilareihin toteutetaan esimerkiksi vaijerilenkeillä, työsaumaraudoitteilla tai irrallisilla harjateräslenkeillä, saumausbetonilla ja harjan suuntaisesti asennettavalla saumateräksellä. Harjateräслиitoksilla (irtolenkit ja työsaumaraudoitteet) saadaan pystysaumalle suurin mahdollinen leikkauskapasiteetti liitoksen poikittaissuuntaisesti, mikä on suotavaa, jotta elementtisauma kestää halkeamatta maanpaineen aiheuttaman kuormituksen. Vaijerilenkkivalmistajat eivät ota kantaa vaijerilenkkien kestävyteen sauman poikittaissuunnassa, joten niiden käyttö ei ole suositeltua:

*”Sauman poikittaissuuntainen leikkauskestävyys  $V_{Rd}$  riippuu sauman muodosta ja mitoista sekä seinäelementtien mitoista, betonin lujuudesta ja raudoituksesta sauman alueella. Leikkauskestävyyden määrittää sauman muodostama betonivaarna. Poikittaissuunnan leikkauskestävyys tulee tarkastaa aina tapauskohtaisesti. Poikittaissuuntaiset leikkauskestävyydet eivät kuulu tämä teknisen käyttöohjeen eikä Käytöselösteen sisältöön.” (Tekninen käyttöohje: PVL-vaijerilenkki, 8.)*

Opinnäytetyössä ei käsitellä sauman poikittaissuuntaisen leikkauskestävyyden tarkastelua.



Kuvio 11. Kahden elementtiseinän välinen vaijerilenkkiliitos (Seinäliitos DV507, 2013).

Kuvio 11 havainnollistaa, kuinka kahden seinän välinen liitos toteutetaan vaijerilenkein. Samaa liitosta voidaan soveltaa seinäelementin ja pilarin välillä, sekä myös korvata liitoksessa käytettävät vaijerilenkit harjateräksillä tai työsaumaraudoitteella.



Kuvio 12. TSA-työsaumaraudoite (TS-työsaumaraudoitteet N.d).



Kuvio 13. PVL-vaijerilenkki asennettuna seinäelementtiin (PVL-vaijerilenkki N.d).

## 6.4 Yleistä teräsbetoniseinän raudoituksista

Teräsbetoninen seinä voidaan tehdä raudoittamattomana tai raudoitettuna. Jos seinä määritellään raudoittamattomaksi, siinä ei ole teräsbetoniseinän määritelmän mukaista minimiteräsmäärää  $A_{s,min}$  joko pysty- tai vaakasuuntaisesti. Raudoittamaton seinäelementti ei siltikään ole usein täysin yksiaineista betonia. Raudoittamattomassakin seinässä on silti paljon erilaisia raudoitteita, kuten elementin reunoille ja aukkojen reunoihin asennettavat raudoitukset betonin kutistumishalkeamisen välttämiseksi. (Leskelä 2008, 425-427.)

Maanpaineiseinä tehdään yleensä kuitenkin aina raudoitettuna seinänä, koska se on taivutusrasitettu ja sillä on yleensä rakennuksen seinistä suurimmat pystysuuntaiset kuormat. (Seinien mittasuositus N.d.)

Raudoitus voidaan tehdä irtoteräksin, mutta teollisessa elementtituotannossa käytetään aina valmiita raudoitusverkkoja.

Teräsbetoniseinissä raudoitus sijoitetaan seinän molempiin tasopintoihin. Teräsbetonirakenteen määritelmän mukaisesti seinässä olevan pystysuuntaisen raudoituksen poikkipinta-alan suuruuden pitää täyttää minimiraudoitusehto  $A_{s,vmin}$  ja enimmäisraudoitusehto  $A_{s,vmax}$ . Minimiraudoitusehdon suositus on  $0,002 * A_c$  ja enimmäisraudoitusehdon suositus  $0,06 * A_c$ , joissa  $A_c$  on betonin poikkileikkauspinta-ala. Raudoitus sijoitetaan tasaisesti puoliksi seinän molemmille tasopinnoille, jos mitoituksen kannalta raudoituksen minimiraudoitusehto  $A_{s,vmin}$  on määräävä tilanne.

Pystysuuntaisella raudoituksella otetaan vastaan seinälle kohdistuva normaalivoima. Pystysuuntaisen raudoituksen suurin sallittu tankoväli on joko kolme kertaa seinän paksuus  $h$  tai 400mm, riippuen kumpi arvoista on pienempi. Vaakasuuntaisen raudoituksen poikkipinta-alan on oltava suuruudeltaan vähintään 25% pystysuuntaisen raudoituksen poikkipinta-alasta tai  $0,001 * A_c$ , riippuen kumpi arvoista on suurempi. Vaakasuuntaisen raudoituksen suurin sallittu tankoväli on 400mm. (Leskelä 2008, 427-429; SFS-EN 1992-1-1:2015, 161.)

Raudoitus voidaan tehdä tavanomaisilla betoniteräksillä tai ruostumattomilla teräksillä. Tavanomaisia betoniteräksiä käytettäessä on huomioitava erityisen tarkasti ympäristön rasitusluokkien määräämä betonin suojapeite, jotta raudoitteet eivät pääse ruostumaan ja pilaamaan rakenteen ulkonäköä ja rakenteellista toimintaa. Ruostumattomia teräksiä käytettäessä betonipeite voi olla ohuempi, mutta tällöinkin on kiinnitettävä huomiota pintabetonin paksuuteen, jotta raudoitteiden tartunta betoniin on riittävä.

Verkkoraudoitteita käyttäessä täytyy päättää, kumpi raudoitus tulee lähemmäksi pintaa, vaaka- vai pystysuuntainen raudoitus. Mikäli normaalivoimakuormitus on hallitseva, pystysuuntainen raudoitus asennetaan ulommaksi, jotta saadaan mahdollisimman pitkä momenttivarsi rakenteen pinnasta pystysuuntaisten raudoitustankojen keskelle. Mikäli seinä tuetaan päistään esim. pilareihin, vaakasuuntainen kuormitus olisi vallitseva ja rakenne mitoitettaisiin laattana, vaakasuuntainen raudoitus asennetaan ulommaksi, jotta raudoitus toimisi mahdollisimman tehokkaasti maanpaine-kuorman taivutusta vastaan.

## 7 Maanpaineseinäelementin suunnittelu

### 7.1 Yleistä maanpaineseinäelementtien mitoituksesta

Teräsbetonielementtiseiniä käytetään rakennuksissa pilareiden tapaan pystysuuntaisina kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Kellarin seinien rakenteellinen toiminta ja toteutus ovat hyvin samankaltaista kuin väliseinillä, sillä erotuksella, että maanpaine-kuormitus aiheuttaa seinälle myös taivutusrasituksen. Maanpaineseinäelementin tapauksessa betonin puristuksella otetaan vastaan yläpuolisten rakenteiden ja seinän oman painon kuormitus. Seinän pintoihin tulevilla raudoitusteräksillä otetaan vastaan maanpaineen ja epäkeskisyyden aiheuttama elementtiä taivuttava kuormitus. Betonin vetokapasiteettia ei hyödynnetä laskelmissa ollenkaan.

Mitoitusmenetelmät ovat pilareilla ja seinillä keskenään samankaltaiset, mutta seinien pystyreunojen sivuttaissuuntainen tuenta pitää tarkastella erikseen. Pilarilla ja seinällä on erona se, että seinä voi nurjahtaa vain yhdessä suunnassa ja poikittaiset seinät voivat antaa sille lisäjäykkyyttä. Rakenne mitoitetaan seinänä, jos poikkileikkauksen leveys  $b$  on vähintään neljä kertaa suurempi kuin poikkileikkauksen paksuus  $h$ . Jos ehto ei täyty, rakenne mitoitetaan pilarina. (Leskelä 2008, 425; Nykyri 2015, 97; Nykyri 2015, 155.)

Maanpaineseinien suositeltavat paksuudet  $h$  ovat 160, 180, 200 ja 240 mm. Seinän paksuus määritellään kuormitusten mukaan. (Seinien mittasuositus N.d.)

Seinän mitoituksessa tarkastellaan yleensä yhden metrin mittaista kaistaletta mitan  $b$  suuntaisesti seinästä, jolle kuormitus ja kestävyys määritetään.

### 7.2 Rakenneanalyysi

Rakenneanalyysillä tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla määritetään rakenteen mitoitusvoimasuureet, joiden perusteella määrätään rakenteelle tietyt mitat ja materiaalit. Mitoitusvoimasuureiden määrittämiseen kuuluu kuormitustapaukset ja kuormitusyhdistelmien käyttö, toisen kertaluvun vaikutusten huomiointi ja mittaepätark-

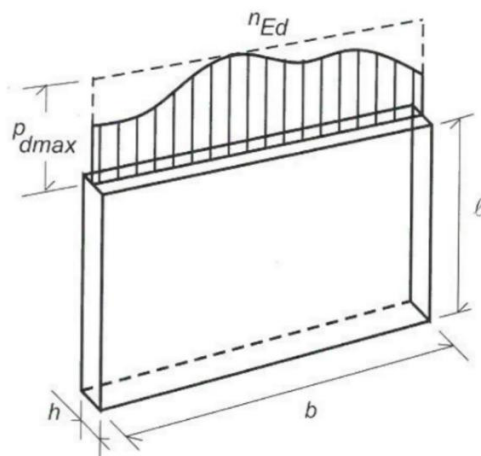
kuuksien huomiointi. Näiden perusteella tarkastellaan, täyttääkö rakenne mitoitus-ehdot hyväksytysti. Analyysissä tarkastellaan sekä murtorajatilat että käyttörajatilat. (Leskelä 2008, 89; SFS-EN 1992-1-1:2015, 54.)

Erilaisille rakenteille käytetään erilaisia analyysityyppejä, ja käytetyn analyysityypin on oltava soveltuva tarkasteltavaan tilanteeseen. Eurokoodi 2 antaa neljä eri mahdollisuutta rakenteen tarkasteluille. Lineaarisen kimmoteorian mukainen analyysi, lineaarisen kimmoteorian mukainen analyysi momenttien rajallisella uudelleen jakautumisella, plastisuusteorian mukainen toiminta ja epälineaarinen toiminta. (SFS-EN 1992-1-1:2015, 54.)

### 7.3 Maanpaineseinään kohdistuva normaalivoimakuormitus

Maanpaineseinä on puristettu pystysuunnassa yläpuolisten rakenteiden painosta ja taivutettu vaakasuorassa maanpaineen lepopaine kuormituksesta sekä rakenteiden epäkeskisyyden ja normaalivoiman yhteisvaikutuksen takia. Rakennemallina on puristettu ja taivutettu sauva.

Nykyrin (2015, 106) mukaan normaalivoima käsitellään mitoituslaskelmissa positiivisena suureena.



Kuvio 14. Seinän mitoituksessa käytettävät merkinnät (Leskelä 2008, 426).

Seinän mitoituksessa käytetään pystysuuntaisena kuormituksena kuvion 14 mukaista kuorman  $P_d$  suurinta intensiteettiä  $P_{dmax}$  jonka mukainen luodaan oletettu tasainen kuormitus  $N_{Ed}$ . (Leskelä 2008, 426.)

Jos seinää kuormitetaan omaa tasoaan vastaan kohtisuoralla kuormituksella kuten maanpaineella, eikä sillä ole pystykuormaa, tällöin rakennetta tarkastellaan laattana. Tällainen tilanne voi tulla eteen esimerkiksi väestönsuojan seinässä, jossa ei ole muita rakenteita yläpuolella lisäämässä seinälle pystysuuntaista, tässä tapauksessa seinää vakauttavaa kuormitusta. Jos vaakakuorma ei ole täysin hallitseva, tarkastellaan rakennetta tavanomaisesti puristus- ja taivutusrasitettuna seinänä. (Nykyri 2015, 155-156.)

Seinän tarkastelu laattana rajattiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska se olisi paisuttanut opinnäytetyön aiheen liian laajaksi.

Normaalivoimakuormitus  $N_{Ed}$  muodostetaan tavanomaisesti puolittamalla seinää kuormittavan välipohjan jänneväli (tai jännevälit mikäli välipohja jatkuu molemmin puolin seinää) ja kertomalla se kuormilla ja osavarmuusluvuilla, johon lisätään seinän oma paino.

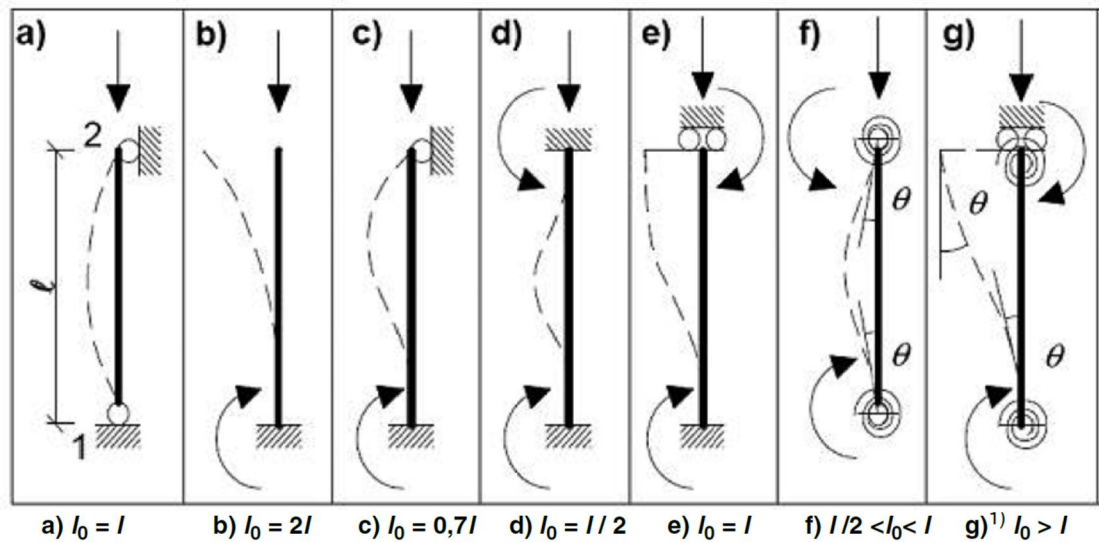
$$N_{Ed} = \frac{j\ddot{a}nnev\ddot{a}li}{2} * (1,15 * g_k + 1,5 * q_k) + 1,15 * g_{k,sein\ddot{a}} \quad (11)$$

Myös kaavan 10 mukainen pelkästään rakenteiden oman painon muodostama kuormitus täytyy tarkastaa, mutta se on vain harvoin määräävä kuormitus.

Jos rakennuksessa on useita kerroksia, kuormitukset kertautuvat kerroslukumäärän mukaan.

## 7.4 Nurjahduspituus

Seinän nurjahduspituus  $l_0$  tarkoittaa puristusrasitetun sauvan taipumamuodon perusteella määritettävää tehollista mitoituspituutta (Nykyri 2015, 118).

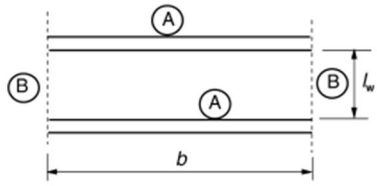
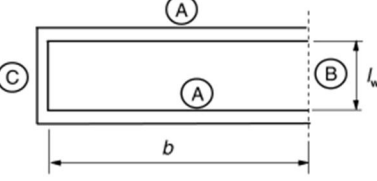
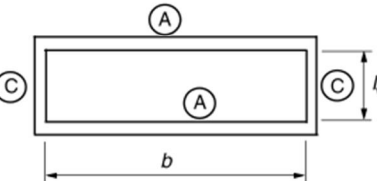


Kuvio 15. Tavallisimpiin tuentatapoihin liittyvät nurjahduspituudet (SFS-EN 1992-1-1:2015, 65).

Opinnäytetyössä tarkasteltavan maanpaineseinän staattinen malli on yleensä kuvion 15 a)-kohdan mukainen molemmista päistään nivelellisesti kiinnitetty sauva, jolloin tarkasteltava nurjahduspituus on sama kuin seinän todellinen korkeus.

Nurjahduspituus määritetään seinälle samalla tavalla kuin pilarille, jos seinä on tuettu vain kahdelta sivulta, ylä- ja alapäästään. Jos seinä on tuettu pystyreunoistaan, se voidaan ottaa huomioon nurjahduspituuskertoimella  $\beta$ , joka pienentää seinän nurjahduspituutta. Kertoimen käyttö on havainnollistettu kuviossa 16. (SFS-EN 1992-1-1:2015, 191.)



Poikittaissiirtymä estetty	Kaavio	Kaava	Kerroin $\beta$	
kahdella reunalla			$\beta = 1,0$ kaikilla suhteen $l_w/b$ arvoilla	
kolmella reunalla		$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2}$	$b/l_w$	$\beta$
neljällä reunalla		Jos $b \geq l_w$ $\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{b}\right)^2}$ Jos $b < l_w$ $\beta = \frac{b}{2l_w}$	$b/l_w$	$\beta$
			0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,5 2,0 5,0	0,10 0,20 0,30 0,40 0,50 0,69 0,80 0,96

(A) – Välipohjalaatta      (B) – Vapaa reuna      (C) – Poikittainen seinä

Kuvio 16. Nurjahduspituuskertoimen arvot  $\beta$  erilaisilla reunaehdoilla (SFS-EN 1992-1-1:2015, 191).

## 7.5 Hoikkuus

Rakenteen hoikkuudella kuvataan sitä, kuinka herkästi pilari taipuu sitä kuormitettaessa. Rakenteeseen syntyy sitä herkemmin lisätaipumaa ja -momenttia, mitä hoikempi pilari on. (Nykyri 2015, 123.)

Hoikkuus määritetään kaavalla 12 (SFS-EN 1992-1-1:2015, 65).

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (12)$$

jossa

$l_0$  = nurjahduspituus

$i$  = betonipoikkileikkauksen jäyhyyssäde  $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$

jossa

$$I = \frac{b \cdot h^3}{\sqrt{12}}$$

jossa

$b$  = seinän tarkastelupituus (1000mm)

$h$  = seinän paksuus

$A$  = poikkileikkauksen pinta-ala.

Hoikkuuden aiheuttamaa lisätaipumaa ja -momenttia ei tarvitse ottaa huomioon mitoituksessa, jos hoikkuusluku on pienempi kuin rakenteen hoikkuuden raja-arvo. Rajahoikkuus lasketaan kaavalla 13. (Nykyri 2015, 123; SFS-EN 1992-1-1:2015, 64.)

$$\lambda_{lim} = 20 * A * B * C * \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

jossa

$A$  = virumisaste (liikiarvo 0,7)

$B$  = mekaaninen raudoitussuhde (liikiarvo 1,1)

$C$  = päätemomenttien suhde (liikiarvo 0,7)

$n$  = suhteellinen normaalivoima.

## 7.6 Epäkeskisyys ja ensimmäisen kertaluvun vaikutukset

Epäkeskisyydellä tarkoitetaan sitä, että rakenteen pystysuuntainen kuormitus ei ole koskaan täsmälleen keskeistä rakenteen pystysuuntaisen keskilinjän suhteen. Epäkeskeinen pystysuuntainen kuormitus aiheuttaa rakenteelle momenttirasituksen, jonka momenttivarsi on yhtä pitkä, kuin kuormituksen epäkeskisyyden mitta rakenteen keskilinjasta. Epäkeskisyyttä voi aiheuttaa moni asia, kuten valmistustoleranssit tai kuormien sijainti rakenteen keskilinjän suhteen epäedullisesti. Leskelän (2008, 230) mukaan epäkeskisyyttä tarkastellaan useimmiten vain momentin ja normaali-voiman suhteena.

Rakenteiden valmistustoleransseista aiheutuva epäkeskisyys otetaan laskelmissa huomioon yksinkertaistetun lisäepäkeskisyyden  $e_i$  avulla. Jäykistettyjen järjestelmien seinissä riittää, että käytetään epäkeskisyyden määritelmänä yksinkertaistettua kaavan 14 mukaista määritelmää. (Nykyri 2015, 130; SFS-EN 1992-1-1:2015, 56.)

$$e_i = \frac{L_0}{400} \quad (14)$$

Puristusrasitettujen rakenteiden puristusvoiman vähimmäisepäkeskisyyttä kuvataan tunnuksella  $e_0$ . Sen suuruus määritetään sen mukaan, kumpi seuraavista antaa suuremman arvon (SFS-EN 1992-1-1:2015, 82):

$$e_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{30} \\ 20mm \end{array} \right. \quad (15)$$

jossa  $h$  on rakenteen poikkileikkauksen korkeus, tässä tapauksessa seinän paksuus.

Epäkeskisyyden  $e_0$  aiheuttama momentti määritetään seuraavasti

$$M_{min} = e_0 * N_{Ed} \quad (16)$$

Laskelmissa käytettävät ensimmäisen kertaluvun sauvanpäämomentit lasketaan seuraavasti (Nykyri 2015, 130; SFS-EN 1992-1-1:2015, 71).

$$M_{ala} = N_{Ed} * e_{ala} \quad (17)$$

Koska sauvan alareunassa normaalivoimalla ei ole todellista epäkeskisyyttä,  $M_{ala}$  olisi tällöin 0. Laskennoissa käytetään silti minimissään  $e_{ala}$ :n arvoina  $e_0 = 20mm$  epäkeskisyttä, jolloin  $M_{ala}$  on suurempi kuin 0.

$$M_{ylä} = N_{Ed} * e_{ylä} \quad (18)$$

$e_{ylä}$  on tässä tapauksessa normaalivoimakuormituksen  $N_{Ed}$  epäkeskisyys, jonka aiheuttaa esim. ontelolaatan tukipinnan sijainti epäkeskeisesti seinän keskilinjan suhteen. Tämä on nähtävissä esim. kuviossa 9.

$$M_{01} = \min(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i * N_{Ed} \quad (19)$$

$$M_{02} = \max(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i * N_{Ed} \quad (20)$$

Jos  $M_{01}$  ja  $M_{02}$  poikkeavat toisistaan, ne korvataan ekvivalentilla vakiomomentilla

$$M_{0e} = \max \begin{cases} 0,6 * M_{02} + 0,4 * M_{01} \\ 0,4 * M_{02} \end{cases} \quad (21)$$

jossa

$$|M_{02}| \geq |M_{01}|$$

Ekvivalenttia vakiomomenttia ei käytetä, mikäli sauvaan vaikuttaa poikittaiskuormitus (SFS-EN 1992-1-1:2015, 71). Maanpaineisiin mitoittaessa menetelmää ei käytetä.

## 7.7 Toisen kertaluvun vaikutukset

Hoikkaan rakenteeseen syntyy epäkeskisyyttä, mikäli pystysuuntainen kuormitus ei kohdistu rakenteelle keskeisesti rakenteen poikkileikkauksen suhteen. Epäkeskisyyys aiheuttaa rakenteelle lisätaipumia. Tätä kutsutaan geometriseksi epälineaarisuudeksi, kun epäkeskisyyys muuttaa momentin ja normaalivoiman yhteisvaikutuksen epälineaariseksi, jolloin taivutusmomentti kasvaa normaalivoimaa nopeammin. (Leskelä 2008, 226.)

Eurokoodin mukaan epäkeskisyyden aiheuttaman lisämomentin arviointiin on kaksi erilaista tapaa: nimellisjäykkyyden menetelmä ja nimellisen kaarevuuden menetelmä. Molemmat menetelmät ovat sallittuja Suomessa. (Nykyri 2015, 124.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään mitoitus nimellisen kaarevuuden menetelmällä.

Nimellisen kaarevuuden menetelmä perustuu siihen, että määritetään laskennallisesti rakenteen suurin taipuma murtotilassa syntyvän kaarevuuden perusteella. Kaarevuuden menetelmää käyttäessä rakenteen poikkileikkaus ja rauditus täytyvät olla symmetrinen molemmin puolin rakennetta. (Mts. 126.)

Rakenteen kaarevuus lasketaan kaavalla 22 (SFS-EN 1992-1-1:2015, 72-73).

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0} \quad (22)$$

jossa

$$K_r = \text{normaalivoimasta riippuva korjauskerroin} \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} \leq 1,0$$

jossa

$$n = \text{suhteellinen normaalivoima} \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}}$$

$$n_u = \text{suhteellisen puristuskestävyyden maksimi} 1 + \omega$$

$$n_{bal} = \text{suhteellisen normaalivoiman arvo, kun taivutuskestävyydellä on maksimiarvo (käytetään arvoa 0,4)}$$

$$K_\varphi = \text{viruman huomioiva korjauskerroin} 1 + \beta * \varphi_{ef} \geq 1,0$$

jossa

$$\varphi_{ef} = \text{virumisaste} \varphi(\infty, t_0) \frac{M_{0,Eqp}}{M_{0Ed}}$$

jossa

$$\varphi(\infty, t_0) \text{ määritetään standardin SFS-EN 1992-1-1:2015 kohdan 3.1.4 (3. liite) kohdan mukaisesti (arvo voi olla mitä tahansa väliltä 0 ... 7)}$$

$$M_{0,Eqp} = \text{taivutusmomentti käyttörajan tilan pitkäaikaisella kuormitusyhdistelmällä}$$

$$M_{0Ed} = \text{taivutusmomentti murtorajan tilassa}$$

$$\text{Momenttisuhteen } \frac{M_{0,Eqp}}{M_{0Ed}} \text{ arvo vaihtelee välillä 0,3 - 0,7 (Nykyri 2015, 128).}$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200 \text{ MPa}} - \frac{\lambda}{150}$$

Virumaa ei tarvitse ottaa laskelmissa huomioon, mikäli viruma ja hoikkuus ovat pieniä ja kuormituksen epäkeskisyys on suuri. Mikäli ehdot 1, 2 ja 3 täyttyvät,  $\varphi_{ef}$  voidaan olettaa nolaksi. (SFS-EN 1992-1-1:2015, 68.)

$$1) \quad \varphi(\infty, t_0) \leq 2,0$$

$$2) \quad \lambda \leq 75$$

$$3) \quad \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} \geq h$$

Tasapainomurtoa vastaavan kaarevuuden likiarvo saadaan kaavalla

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} \quad (23)$$

jossa

$$\varepsilon_{yd} = \text{raudoituksen myötövenymä} \frac{f_{yd}}{E_s}$$

jossa

$$E_s = 200 \text{ GPa Eurokoodi 2:n (SFS-EN 1992-1-1:2015, 41) mukaisesti.}$$

Kaarevuuden avulla saadaan määritettyä pilarin suurin taipuma kaavalla 24 (Mts. 72).

$$e_2 = \frac{1}{r} * \frac{L_0^2}{c} \quad (24)$$

jossa  $c$  = kokonaiskaarevuuden jakautumasta riippuva kerroin, tavallisesti käytettävä arvo  $c = 10$

2. kertaluvun lisämomentti määritetään kaavalla 25 (Mts. 72).

$$M_2 = e_2 * N_{Ed} \quad (25)$$

## 7.8 Mitoittavan momentin määrittäminen

Seinälle muodostuvan momenttirasituksen  $M_{Ed}$  tuottaa maanpaineen lisäksi yhdessä rakenteiden epäkeskisyys ja pystysuuntainen kuormitus.

Suurin rakenteen mitoittava momentti  $M_{Ed}$  määritetään kolmesta vaihtoehdosta, rakenteen keskikorkeudella vaikuttavan ekvivalenttimomentin  $M_{0e}$  ja toisen kertaluvun momentin  $M_2$  summa, rakenteen päätemomenteista suurempi  $M_{02}$  sekä epäkeskisyyden aiheuttama momentti  $M_{min}$ . (Nykyri 2015, 131.)

$$M_{Ed} = \max \begin{cases} M_{0e} + M_2 \\ M_{02} \\ M_{min} \end{cases} \quad (26)$$

Koska ekvivalenttimomenttia ei käytetä maanpaineisiin mitoittaessa, se korvataan maanpaineen aiheuttamalla momenttirasituksella. Tällöin yhtälö saa muodon

$$M_{Ed} = \max \begin{cases} M_{mp,max} + M_2 \\ M_{02} \\ M_{min} \end{cases} \quad (27)$$

jossa

$M_{mp,max}$  = maanpaineen aiheuttama suurin momenttirasitus

## 7.9 Yhteisvaikutusdiagrammit

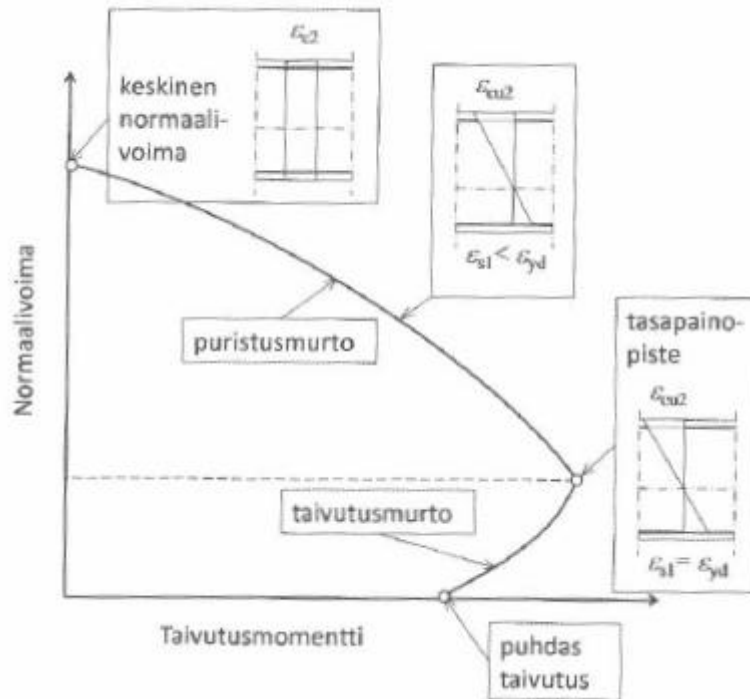
Kun mitoittavat kuormat  $N_{Ed}$  ja  $M_{Ed}$  ovat saatu määritettyä, rakenteen on täytettävä rakenneanalyysissä annetut mitoitus ehdot, joiden mukaan kestävyys on suurempi kuin kuormitus.

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Seinän ja pilarin mitoituksessa käytetään yleisesti kuvion 18 mukaisia yhteisvaikutusdiagrammeja. Yhteisvaikutusdiagrammeilla esitetään rakenteen käyttäytyminen taivutusmomentti - normaalivoima -koordinaatistossa. Rakenteen kapasiteetti ylittyy, kun yhteisvaikutuskäyrä saavutetaan. (Nykyri 2015, 101.)

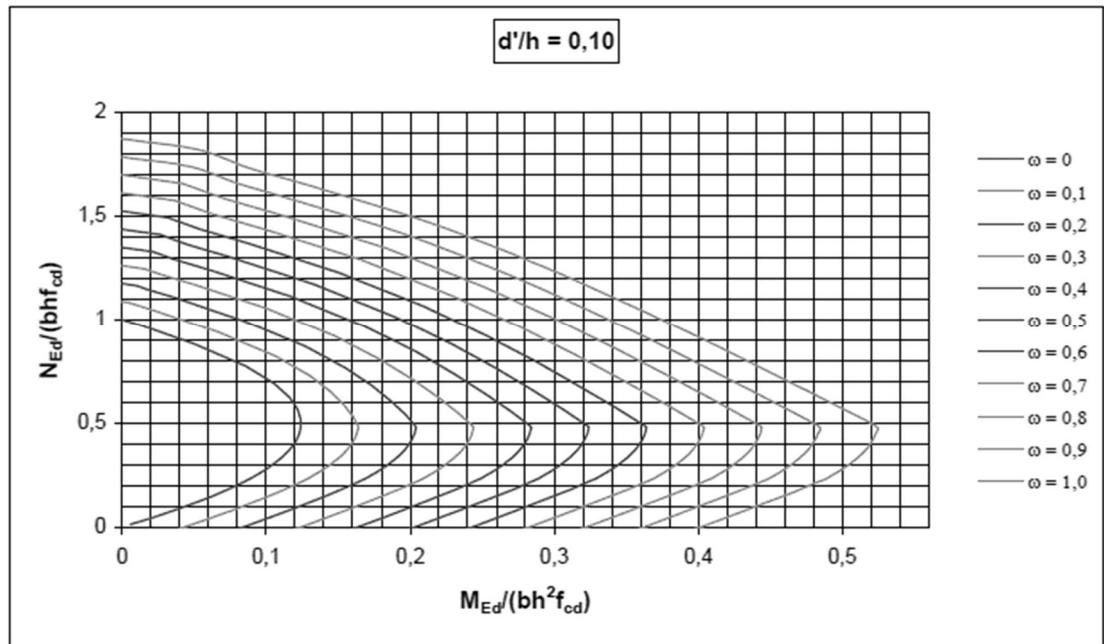
Diagrammin tasapainopisteessä rakenteen poikkileikkauksella on suurin taivutuskestävyys. Jos normaalivoima on pienempi kuin tasapainopisteessä, tapahtuu taivutusvetomurto, suuremmilla normaalivoimakuormituksilla tapahtuu puristumurto. (Mts. 106.)



Kuvio 17. Pilaripoikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrä, murtotavat havainnollistettuna (Mts. 106).

Kuvion 19 käyrät kuvaavat eri raudoitismääriä vastaavia kestävyyyksiä. Raudoitismäärä kuvataan mekaanisen raudoitussuhteen arvona  $\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$ . Muuttuja  $d'/h$  kuvaa raudoituksen sijaintia rakenteen poikkileikkauksen suhteen. Mitä pienempi arvo  $d'/h$  on, sitä lähempänä rakenteen poikkileikkauksen ulkoreunoja raudoitteet ovat, ja sitä tehokkaammin rauditus toimii suuremman momenttivarren ansiosta. (Mts. 107.)





Kuvio 18. Pilarin yhteisvaikutusdiagrammi (Leaflet osa 5 2009, 9).

Mitoituksessa käytettävät mitoituskäyrästöt on tehty suhteellisille kuormitusarvoille, jotta käyrästöt olisivat monikäyttöisempiä (Mts. 106).

$$\text{Suhteellinen normaalivoima } n = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} \quad (28)$$

$$\text{Suhteellinen momentti } \mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}} \quad (29)$$

Toinen tapa määrittää sopiva yhteisvaikutusdiagrammi on käyttää suunnittelijoiden ja yritysten omia iterointimenetelmään perustuvia tietokonepohjaisia laskentaohjelmia, esim. Excel-laskentapohjia, joihin suunnittelija syöttää mm. seinän materiaalien ja geometrian lähtötiedot, ja laskentapohja piirtää yhteisvaikutusdiagrammin. Seinien yhteisvaikutusdiagrammien laadinnan esimerkki on sisällytetty opinnäytetyön liitteeseen 4.

## 8 Johtopäätökset

### 8.1 Pohdinta

Maanpaine-elementin suunnittelu on usean eri ohjeen, määräyksen, detaljin ja standardin sisäistämistä ja soveltamista, koska maanpaineosien suunnittelu poikkeaa paikoin huomattavastikin tyypillisestä maan pinnan yläpuolisten rakenteiden suunnittelusta. Maanpaine-elementin tarkkaa vaihe vaiheelta etenevää suunnitteluohjetta ei löydy Betoniyhdistyksen eikä Rakennusinsinöörien Liitto RIL:n teoksista. Eurokoodienkin kanssa joutuu pohtimaan, että soveltuuko jokin tietty mitoitus tapa juuri maanpaineosinälle. Betonirakenteiden kiinnitysosien valmistajien ohjedokumenteissakin otetaan hyvin vähän kantaa mihinkään maanpainerakenteisiin liittyviin suunnittelutilanteisiin. Muille rakenneosille, kuten pilareille ja palkeille löytyy selkeät ohjeet, mutta maanpaine-elementin suunnittelussa ja mitoituksessa täytyy jatkuvasti hyppiä monen eri teoksen välillä ja soveltaa muista ohjeista. Haastavinta opinnäytetyöprosessissa olikin hankkia tarvittava tieto eri lähteistä ja muodostaa asioista hyvä kokonaiskäsitelmä.

Pyrin käyttämään opinnäytetyössä mahdollisimman paljon eri kirjallisuuslähteitä. Tämä tapa mahdollisti sen, että pääsin tutustumaan alan kirjallisuuteen paremmin, ja nyt tiedän, mitä kaikkia eri teoksia asian tiimoilta on saatavilla. Lisäksi suurin osa käyttämästäni lähdeaineistosta on suhteellisen tuoreita, joten niistä löytyvä tieto on myös viimeisintä saatavilla olevaa. Pyrin tarkistamaan lähteiden tiedot ristiin useammasta kuin yhdestä teoksesta sen takia, että usein esim. RIL:n kirjoissa ja Eurokoodeissa asiat on selitetty eri tavalla, ja asian saattaa ymmärtää paremmin, kun tarkastaa sen molemmista teoksista.

Työhön oli tarkoitus sisällyttää myös englanninkielisiä kirjallisuuslähteitä, mutta pian kävi selväksi, että useiden kirjojen saatavuus oli heikko, eivätkä ne olisi tuttuja suomalaisille suunnittelutoimistoille. Lähdeteosten osalta pitäydyin vain suomenkielissä lähteissä, koska Suomessa rakennetaan ja koulutetaan suomenkielisten ohjeiden ja määräysten mukaisesti.

Opinnäytetyön laajuus yllätti ja jouduin rajaamaan joitakin periaatteessa oleellisia seikkoja opinnäytetyön ulkopuolelle, koska opinnäytetyö olisi paisunut liian laajaksi.

Mikäli asioihin olisi halunnut paneutua perin pohjin, maanpaineen lepokuormituksen määrittämisessä, taivutus- ja puristusrasitetusta rakenteesta sekä betonielementti-tekniikassa, olisi kaikissa yksistään riittävästi tutkittavaa kokonaista opinnäytetyön laajuutta ajatellen.

Eurokoodit osoittautuivat erittäin tärkeäksi työkaluksi opinnäytetyön aiheen suhteen, vaikkakin niiden käyttö onkin paikoitellen hankalaa suuren laajuuden ja puutteellisen ohjeistuksen vuoksi. Niiden sisäistämisen suhteen suurena apuna toimivat RIL:n ja Betoniyhdistyksen Eurokoodeihin pohjautuvat suunnittelun ohjekirjat, joissa on hyviä laskuesimerkkejä ja asiat selitetty helpommin ymmärrettävässä muodossa. Eurokoodit kuuluvat silti vahvasti nykyhetkeen sekä tulevaisuuteen, joten niiden sisältämät asiat on 2010-luvun rakennesuunnittelijalla yksinkertaisesti oltava hallussa. Mikäli geotekniseen mitoitukseen haluaisi perehtyä paremmin, lisää tutkittavaa löytyisi esim. Bond & Harrisin *Decoding Eurocode 7* -kirjasta.

## 8.2 Tulokset

Opinnäytetyön julkinen osuus jakautui käytännössä kolmeen osaan, maanpainekuorman määritykseen, rakenteiden suunnitteluvaatimuksiin ja teräsbetoniseinän detailjiikkaan ja mitoitukseen. Maanpaineen lepopaineukuormituksen määrittäminen oli yksinkertaisempaa kuin alun perin ajattelin, mikä olikin tämän työn helpoin osuus. Teräsbetonirakennetta käsittelevä opinnäytetyön viimeinen kappale ”*maanpaineiseinäelementin rakenteellinen suunnittelu*” oli selkeästi haastavin saada kasaan. Haasteita tuotti normaalivoiman ja taivutusrasituksen kuormittaman seinäelementin mitoitus siten, että kaikki tarvittavat asiat tulisivat otettua huomioon mitoituksessa.

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda toimeksiantajan käyttöön ei-julkinen suunnitteluohje, jossa maanpaine-elementin suunnittelu esitellään vaihe vaiheelta edeten. Suunnitteluohjeessa perehdyttiin mitoitukseen käytännön laskuesimerkein, tekstiä havainnollistavien kuvien ja mitoitusohjelmasta otettujen kuvankaappauksien avulla, enkä vain tyytynyt esittelemään ja etsimään esim. Eurokoodista sopivia kaavoja rakenteen mitoittamiseen. Suunnitteluohjeeseen sisältyi myös siinä annettujen

kaavojen ym. osalta viittaukset esim. Eurokoodeihin, jotta niiden alkuperä voidaan todentaa ja tarkistaa.

Suunnitteluohje mahdollistaa sen, että suunnittelijan ei tarvitse enää hyppiä eri teosten välillä löytääkseen tietoa maanpaine-elementin suunnittelemiseksi, vaan kaikki tieto löytyy yhdestä paikasta. Tavoitteessa onnistuttiin sikäli hienosti, että suunnitteluohje valmistui ajallaan opinnäytetyön kanssa ja uskon, että siitä on hyötyä konsernissa työskenteleville suunnittelijoille, vaikkakin siihen jäi vielä hieman kehitettävää jatkoa ajatellen. Aionkin ottaa vastaan palautetta kollegoiltani ja jatkaa yrityksessä työskennellessäni ohjeen kehittämistä ja ylläpitämistä tulevaisuudessa, mikäli sen suhteen tulee uusia määräyksiä esim. maanpaineen määrittämiseen tai teräsbetoni-seinän mitoitukseen. Kun suunnitteluohje on tarkastettu konsernin sisäisten tapojen mukaisesti ja muokattu kaikin puolin valmiiksi, se julkaistaan toimeksiantajan Intranetissä ja se on saatavilla koko konsernin laajuisesti ympäri Suomen.

## Lähteet

Betonin lujuus. N.d. Tietoartikkeli betonin lujuudesta betoni.com -sivustolla. Viitattu 22.2.2017. <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-lujuus/>

Betoninormikortti 23\_EC. 2012. Liitosten suunnittelu ja mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN 1991-1-7 yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Julkaisu Betoniyhdistyksen sivustolla. Viitattu 7.3.2017. [http://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti\\_23ec.pdf](http://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti_23ec.pdf)

by 51. 2007. Betonirakenteen käyttöikäsuunnittelu 2007. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto

by 68. 2017. Betoin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: BY-Koulutus.

by 211. 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013 - osa 1. 2. painos. Julk. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: BY-Koulutus.

Elementtipinnat. N.d. Ohjeteksti betoni.com -sivustolla. Viitattu 17.3.2017. <http://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/betonipinnat/muottia-vasten-valetut-pinnat/elementtipinnat/>

Esite eurokoodeista. 2014. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Julkaistu 2014. Viitattu 15.1.2017. [http://www.sfs.fi/files/309/SFSEuroKesite27062014\\_\(2\)1.9.2014.pdf](http://www.sfs.fi/files/309/SFSEuroKesite27062014_(2)1.9.2014.pdf)

Runkoliitos DO503. 2013. Vakiodetalji elementtisuunnittelu.fi -sivustolta. Viitattu 1.3.2017. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22496/DO503.pdf>

Finnfoam rakennekortti CW01. 2017. Finnfoam. Rakenne-esimerkki perusmuurin eristämisestä eristevalmistaja Finnfoamin www-sivuilla. Viitattu 25.1.2017. [http://www.finnfoam.fi/files/8114/5130/4895/Finnfoam\\_CW01.pdf](http://www.finnfoam.fi/files/8114/5130/4895/Finnfoam_CW01.pdf)

Huhtiniemi, S. & Kiviniemi, J. 1991. Elementtityöt by 208. Helsinki: Rakennustieto

Jääskeläinen, J. 2014. Geotekniikan perusteet. 4. painos. Porvoo: Tammertekniikka / Amk-Kustannus.

Kuljetus ja nostot. N.d. Artikkelit betonielementtien nostoista ja kuljetuksesta elementtisuunnittelu.fi -sivustolla. Viitattu 17.3.2017. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/rakenteellinen-toiminta/kuljetus-ja-nostot>

Leaflet osa 5. 2009. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan: Pilarit. Betoniteollisuus. Viitattu 1.3.2017. [http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet\\_5\\_Pilarit.pdf](http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_5_Pilarit.pdf)

Leskelä, M. 2008. by 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto.

Liitokset. N.d. Ohjedokumentti betonielementtien välisistä liitoksista elementtisuunnittelu.fi -sivustolla. Viitattu 16.3.2017.  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset>

Nostolenkit ja -ankkurit. 2014. Ohjedokumentti betonielementtien nostolenkeistä ja -ankkureista. Betoniteollisuus. Tampere: Suomen Rakennusmedia. [http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23860/Betonielementtien\\_nostolenkit\\_ja\\_-ankkurit\\_2010%20+%20Muutokset\\_2014\\_07.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23860/Betonielementtien_nostolenkit_ja_-ankkurit_2010%20+%20Muutokset_2014_07.pdf)

Nostolenkkiesite. N.d. Esite valmistajan www-sivuilla nostolenkkituotteiin liittyen. <http://www.pintos.fi/tuotteet/raudoitteetteollisuuteen/getfile.php?file=207>

Nykyri, P. 2015. by 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014 - osa 2. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: BY-Koulutus.

Pilarien mittasuositus. N.d. Suorakaidepilarien suositeltavat poikkileikkaukset. Kuva elementtisuunnittelu.fi -sivustolla. Viitattu 26.3.2017.  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/image/22510/20100323121649/image035.png>

PVL-vaijerilenkki. N.d. Kuva elementtiin asennetusta tuotteesta valmistajan www-sivuilla. Viitattu 18.3.2017. <http://www.peikko.fi/product-fi/p=PVL-vaijerilenkki>

RakMk C2. 1998. Rakennusmääräyskokoelma. Kosteus. Määräykset ja ohjeet. Säännös Suomen rakentamismääräyskokoelmassa Ympäristöministeriön www-sivulla. Viitattu 24.1.2017. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys)

RIL 157-2-1990 Geomekaniikka II. 1990. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL.

RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL.

RIL 207-2009. 2009. Geotekninen suunnittelu, eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL.

RT 81-11000. 2010. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 21.1.2017. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Ruotsala, M. 2011. Ratojen tukiseinien mitoittaminen Eurokoodilla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Viitattu 2.4.2017.  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2011-26\\_ratojen\\_tukiseinien\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-26_ratojen_tukiseinien_web.pdf)

Seinien mittasuositus. N.d. Ohjedokumentti seinäelementtien suositeltavista mitoista elementtisuunnittelu.fi -sivustolla. Viitattu 30.1.2017.  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/seinat/seinien-mittasuositus/>

Seinäliitos DV507. 2013. Vakiodelta elementtisuunnittelu.fi -sivustolta. Viitattu 1.3.2017. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22918/DV507.pdf>

SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2006. Eurokoodi 0: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC. 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1997-1 + A1 + AC. 2014. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Tekninen käyttöohje: PVL-vaijerilenkki. N.d. Käyttöohje vaijerilenkkien käyttöön valmistajan sivuilla. Viitattu 18.3.2017.

<http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=9860&org=2&chk=fd4ade16>

Teollinen valmisosarakentaminen. N.d. Artikkelit betonielementtien teollisesta valmistamisesta elementtisuunnittelu.fi -sivustolla. Viitattu 16.3.2017.

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen>

Tietoa Swecosta. n.d. Sweco Finlandin internet-sivut. Viitattu 19.12.2016.

<http://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>

TS-työsaumaraudoitte. N.d. Kuva valmiista TSA-työsaumaraudoitetuotteesta valmistajan www-sivuilla. <http://www.peikko.fi/product-fi/p=TS-ty%C3%B6saumaraudoite>

Sweco Finland lyhyesti. 2016. Sweco Finland. Artikkelit Swecon intranet-sivuilla, pääsy rajattu. Julkaistu 23.2.2016. Viitattu 19.12.2016.

[http://intranet.sweco.se/Global/Finland/About%20Sweco/Business%20areas/Yleistieto\\_Sweco\\_Finlandista\\_20160223.pdf](http://intranet.sweco.se/Global/Finland/About%20Sweco/Business%20areas/Yleistieto_Sweco_Finlandista_20160223.pdf)

# Liitteet

Liite 1. SFS-EN 1992-1-1:2015:n taulukko 4.1.  
Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat standardin EN 206-1 mukaisesti

Luokan merkintä	Ympäristön kuvaus	Opastavia esimerkkejä paikoista, joissa rasitusluokkia voi esiintyä
<b>1 Ei korroosion tai rasituksen riskiä</b>		
X0	Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäädytys-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: hyvin kuiva	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on hyvin alhainen
<b>2 Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korroosio</b>		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on alhainen Pysyvästi vedenalainen betoni
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Betonipinnat, jotka ovat pitkään kosketuksissa veden kanssa Usein perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on kohtalainen tai suuri Ulkona oleva sateelta suojattu betoni
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasitusluokkaan XC2
<b>3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korroosio</b>		
XD1	Kohtalaisen kostea	Betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman sisältämille klorideille
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Uima-altaat Betoni on alttiina kloridipitoisille teollisuusvesille
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Sillan osat, jotka ovat alttiina kloridipitoisille roiskeille Jalkakäytävät Paikoitustalojen laatat
<b>4 Meriveden kloridien aiheuttama korroosio</b>		
XS1	Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksissa meriveteen	Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteiden osat
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä	Merirakenteiden osat
<b>5 Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä</b>		
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Jäänsulatusaineille alttiit teiden ja siltojen kannet Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alttiit betonipinnat Roiskevyöhykkeellä olevat jäätymiselle alttiit merirakenteet
<b>6 Kemiallinen rasitus</b>		
XA1	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA2	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA3	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi

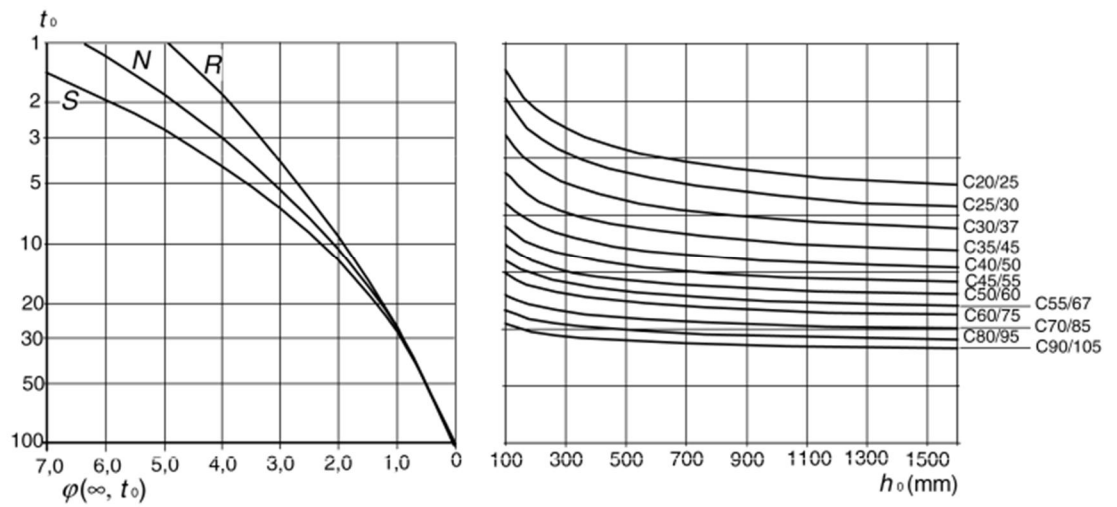


Liite 2. SFS-EN 1990:2006:n taulukko A1.1. Kuormayhdistelmien yhdistelykertoimien  $\psi$  arvot rakennukselle.

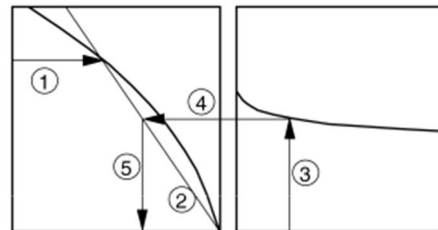
Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) <sup>1)</sup>			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien $\psi$ arvot voidaan määritellä kansallisessa liitteessä.			
<sup>1)</sup> Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Liite 3.  
määrittäminen

SFS-EN 1992-1-1:2015 kohta 3.1.4: Virumaluvun  $\varphi(\infty, t_0)$



a) sisätilat – suhteellinen kosteus = 50 %



HUOM.

- Käyrien 4 ja 5 välinen leikkauspiste voi olla myös pisteen 1 yläpuolella.
- Kun  $t_0 > 100$ , saavutetaan riittävä tarkkuus, kun oletetaan  $t_0 = 100$  (ja käytetään tangenttiviivaa).

Liite 4.

Maanpaine-elementin suunnitteluohje, ei-julkinen